

VISIT...

LANZAROTE  
*Caliente*.COM

С.И. ГОЛОВКОВ  
И.Ф. КОПЕРИН  
В.И. НАЙДЕНОВ

---

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ



МОСКВА  
"ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ"  
1987

Головков С. И., Коперин И. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов.— М.: Лесн. пром-сть, 1987.— 224 с.

Рассмотрены основные особенности древесных отходов как топлива. Дано описание котельного оборудования предприятий лесной промышленности, обеспечивающего полное использование тепла при сжигании древесных отходов. Рассмотрены технология подготовки древесных отходов к сжиганию, их хранение в буферных и межсезонных складах. Рассказано об организации учета расхода древесного топлива, механизации и автоматизации топливоподдачи.

Для инженерно-технических работников лесной промышленности.  
Табл. 43, ил. 73, библиогр.— 65 назв.

Рецензент П. П. АЛЕКСАНДРОВ (Минлесбумпром СССР)

Г 3905010000—075 26—87  
037(01)—87

© Издательство «Лесная промышленность», 1987 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Древесина — самый древний вид топлива. Однако по мере развития производительных сил общества значимость ее как топлива уменьшилась. Снижение удельного веса древесного топлива в топливном балансе страны обусловлено объективными причинами. Главнейшей из них являются колоссальные потребности социалистического народного хозяйства в топливе, которые существенно превышают возможности воспроизводства древесного топлива в лесных массивах страны.

Затраты труда на заготовку и вывозку древесины выше затрат труда на добычу ископаемых видов топлива, а транспортабельность древесного топлива существенно ниже транспортабельности каменных углей и жидкого топлива. Это способствовало снижению значимости использования древесного топлива в народном хозяйстве страны.

В связи с незначительным удельным весом древесины в энергетическом балансе промышленно развитых стран казалось, что интерес к энергетическому использованию древесного топлива утрачен навсегда. Однако энергетический кризис, развившийся в 1973...1975 гг., заставил изменить точку зрения на перспективы энергетического использования древесины. Прежде всего древесина — это единственный вид топлива, естественно возобновляющийся в больших объемах, в то время как запасы горючих ископаемых ограничены. Затраты общественного труда на добычу ископаемых видов топлива с течением времени увеличиваются, в то время как трудоемкость заготовки и вывозки древесины уменьшается.

Немаловажное значение имеет и экологический аспект проблемы — древесное топливо практически не содержит серы и имеет высокую реакционную способность, поэтому в дымовых газах при сжигании древесины не содержится сернистого и серного газа, а содержание окиси углерода при рационально сконструированных топочных устройствах минимально. Неудивительно, что в настоящее время как в СССР, так и за рубежом интерес к вопросам энергетического использования древесной биомассы возрастает. Производственников-лесозаготовителей прежде всего интересуют вопросы использования на топливо древесных отходов, не находящихся по той или другой причине технологического применения. Они являются вторичными топливными энергетическими ресурсами — источником реальной экономии горючих ископаемых.

Энергетическое использование древесных отходов, непригодных для технологического применения, способствует выполнению задачи, поставленной XXVII съездом КПСС, по улучшению использования лесосырьевых ресурсов. Использование древесных отходов на топливо есть завершающая фаза лесозаготовительного производства, придающая ему безотходный характер и направленная на повышение эффективности мер по охране природы.

Вовлечение в топливный баланс лесопромышленных предприятий древесных отходов — эффективное мероприятие по сбережению для будущих поколений горючих ископаемых, запасы которых в природе уменьшаются все возрастающими темпами.

Цель настоящей работы — информировать читателей о проблеме энергетического использования древесных отходов в лесной и деревообрабатывающей промышленности.

## 1. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

### 1.1. ДРЕВЕСНАЯ БИОМАССА КАК ОДИН ИЗ ВИДОВ ЕСТЕСТВЕННО ВОЗОБНОВЛЯЮЩЕГОСЯ ТОПЛИВА

Древесина использовалась на топливо человеком с момента открытия огня. За долгий исторический период, прошедший с той поры, процесс сжигания древесины был достаточно изучен и, казалось бы, все вопросы энергетического использования древесины должны быть решены. Однако опыт сжигания древесины относился только к использованию древесного топлива для домашнего хозяйства. Промышленное использование древесного топлива в больших масштабах началось с момента возникновения производства чугуна и стали на базе древесного угля, а применение древесного топлива в энергетических целях не получило широкого развития. Древесное топливо было быстро вытеснено из энергетики каменным углем и жидким топливом, отличающимися более высокой транспортабельностью и имеющими, как казалось в то время, неисчерпаемые ресурсы.

Энергетический кризис 1973...1975 гг. заставил уточнить мировые запасы ископаемых видов топлива. Оказалось, что они при существующих темпах роста потребности в энергии будут исчерпаны в течение ближайших столетий, т. е. в весьма короткий исторический период. При этом следует учитывать, что горючие ископаемые не только источник энергии, они в то же время сырье для технологии производства широкой гаммы продуктов, жизненно необходимых человечеству. По образному выражению Д. И. Менделеева, сжигать сырую нефть также неразумно, как сжигать ассигнации. Необходимость экономии ископаемых топливно-энергетических ресурсов в масштабе всей планеты становится с каждым годом все более неотвратимой и заставляет промышленно развитые страны проводить широкие исследования по поиску альтернативных источников энергии.

Однако пока новые источники энергии (например, энергия термоядерного синтеза) будут промышленно освоены, человечество вынуждено для получения энергии сжигать колоссальные объемы горючих ископаемых, оставляя, таким образом, будущие поколения без органического сырья. Поэтому чрезвычайно важно на данной ступени развития науки и производства максимально использовать возобновляющиеся виды топливно-энергетических ресурсов.

К таким ресурсам относится древесная биомасса, самопроизвольно возобновляющаяся при жизнедеятельности лесных массивов. Однако необходимо трезво оценить возможности

энергетического использования древесной биомассы. При этом следует исходить из того, что производительность лесов как источников энергии ограничена не столь высоким пределом. Расчеты показывают, что годовой прирост древесины в лесах Советского Союза эквивалентен по энергии всего 12...13 % годового расхода по стране горючих ископаемых. Учитывая, что основная часть прироста древесины расходовалась и будет расходоваться для технологических целей, а также имея в виду, что часть прироста древесины в лесонасаждениях Сибири и Дальнего Востока технически и экономически недоступна в ближайшей перспективе для использования, можно заключить, что применение на топливо древесной биомассы не может привести к большим сдвигам в структуре топливного баланса Советского Союза. Это обусловлено прежде всего гигантскими размерами топливно-энергетического комплекса нашей страны. Однако усилия энергетиков лесной промышленности должны быть сконцентрированы на вовлечении в топливный баланс страны древесной биомассы в максимально возможных, технически и экономически обоснованных объемах.

### 1.2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ ЗА РУБЕЖОМ

В периодической печати зарубежных стран уделяется много внимания вопросам экономии энергии и топлива в лесных отраслях промышленности, а также проблеме замены, где это возможно и целесообразно, дефицитного нефтегазового сырья топливом из древесных отходов и низкосортной древесины. Обсуждаются проблемы использования древесной биомассы на топливо, приводятся примеры работы электростанций и котельных установок на этом виде топлива, сведения о создании новых, более эффективных установок, работающих на древесном топливе, а также о разработке вспомогательного оборудования для подготовки, складирования, хранения и транспортирования древесного топлива. Имеются сообщения о проведении исследований по получению из древесины жидкого топлива и газа, пригодного для использования в бытовых целях.

Как известно, древесина с давних пор традиционно используется в качестве топлива для бытовых целей. Даже сегодня, по оценкам зарубежных экспертов, около половины заготавливаемой в мире древесины используется в качестве топлива для приготовления пищи и отопления, а в развивающихся странах на эти цели расходуется до 90 % древесного сырья.

Американские специалисты считают, что вовлечение в топливный баланс древесных отходов может полностью удовлетворить потребность в топливе лесной отрасли. Считают, что в лесопильном производстве почти половина сырья переходит в отходы, а на мебельных предприятиях еще половина пилома-



териалов превращается в отходы. Все неиспользуемые для технологической переработки отходы лесозаготовок и деревообработки должны найти применение в энергетике предприятий. В целях увеличения эффективности энергетического использования древесной биомассы министерство энергетики США проводит в этой области все расширяющиеся по объему научно-исследовательские работы.

В Канаде принята специальная правительственная программа по использованию древесной биомассы в качестве энергетического сырья. Руководство программой осуществляет министерство энергетики, шахт и ресурсов при участии межведомственного консультативного комитета. Цель программы — удвоить по сравнению с существующим уровнем и довести до 7 % долю древесных и коммунальных отходов в национальном энергетическом балансе страны.

Все большее значение использованию биомассы в качестве энергетического сырья придают в ФРГ. В одном из сообщений отмечается, что за счет энергетического использования древесной биомассы в стране можно сэкономить около 1...1,5 % общего потребления нефтепродуктов.

Большие работы по вовлечению в топливный баланс древесной биомассы проводятся в Швеции. Активно ведутся работы в этом направлении в Финляндии, Норвегии, Австрии, Швейцарии, Франции, Италии и других странах.

На основании анализа зарубежной информации по энергетическому использованию древесной биомассы можно установить, что основными направлениями проведения научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ в этой области за рубежом являются:

- поиски возможностей увеличения резервов древесной биомассы путем повышения производительности лесных массивов и оптимизации сроков рубки при заготовке энергетической биомассы;

- повышение эффективности использования различных видов древесной биомассы при непосредственном сжигании ее в топках котельных установок для выработки тепловой и электрической энергии;

- производство из древесной биомассы твердого топлива с повышенными показателями по транспортабельности, теплоте сгорания и водостойкости;

- получение из древесной биомассы жидкого топлива для транспортных машин;

- производство на основе древесной биомассы газообразного топлива, пригодного для использования в современных системах газоснабжения, а также в газобаллонных транспортных машинах.

Зарубежные специалисты выделяют два направления работ по увеличению резервов древесной биомассы для энергетиче-

ского использования: во-первых, создание энергетических плантаций, или плантаций энергетического сырья и, во-вторых, повышение степени использования биомассы дерева в существующих, эксплуатируемых лесонасаждениях.

Под созданием энергетических плантаций понимаются посадки быстрорастущих лесных культур на пустующих землях, непригодных для земледелия, с последующим использованием вырастающей на них древесины для получения энергии. Отмечается привлекательность этого направления с точки зрения экологии. Продуктивность использования земельных площадей при этом, по зарубежным данным, может быть существенно повышена направленным генетическим совершенствованием лесных культур, введением оптимизированного короткого срока рубки и выращиванием саженцев в теплицах с продленным световым днем при применении искусственного освещения.

Повышение степени использования биомассы дерева в эксплуатируемых лесных массивах, по мнению зарубежных специалистов, может быть достигнуто за счет использования на топливо биомассы кроны, пней и корневой системы дерева, а также древесных отходов, оставляемых на лесосеке и образующихся в процессе раскряжевки.

Эффективность непосредственного сжигания древесной биомассы в топках котлоагрегатов повышается в результате проведения следующих мероприятий:

- машинизации и автоматизации процессов складирования и транспортирования древесного топлива к топочным устройствам;

- совершенствования топочных устройств, направленного на повышение КПД котлоагрегатов, снижение трудозатрат на обслуживание котельных установок и обеспечение возможности сжигания древесных отходов высокой зольности и влажности;
- разработки совершенных систем подготовки к сжиганию особо влажных отходов, главным образом коры.

Непосредственно образующиеся в процессе заготовки древесины и ее первичной обработки древесные отходы и щепа имеют малую плотность и низкую теплоту сгорания. Вследствие этого они как топливо малотранспортабельны, и при сжигании развивают недостаточно высокую температуру горения, что исключает их применение для ведения высокотемпературных процессов и снижает теплопроизводительность и КПД котельных установок, в которых они используются. Так, за рубежом проводятся исследования по разработке и совершенствованию производства транспортабельного, высококачественного топлива на базе древесного сырья. Применение древесных брикетов, по мнению специалистов, особенно привлекательно для бытового потребления, так как в их составе не содержится серы и других вредных элементов.

Ограниченность мировых запасов нефти, бесконтрольные

действия транснациональных нефтяных корпораций вызывают на Западе неуверенность в будущем энергетике. Естественной реакцией технической общественности на сложившуюся ситуацию явилось увеличение объемов исследований по изысканию источников альтернативного топлива и, в частности, научных работ по получению жидкого топлива для транспортных машин на основе древесной биомассы, возобновляющейся в сравнительно больших объемах. По имеющейся информации, эти исследования не вышли за рамки поисковых работ. В состоянии научного поиска находятся и исследования по получению из древесины горючего газа с высокой теплотой сгорания для использования его в существующих системах газоснабжения.

Вопросами использования древесины и древесных отходов для получения энергии занимаются специализированные органы ООН. Комитет по лесоматериалам (ФАО) и отдел энергетики Европейской Экономической Комиссии (ЕЭК) проанализировали тенденции и потенциальные возможности использования древесины как возобновляемого источника энергии. При этом было установлено, что в развитых капиталистических странах доля энергии, получаемой из древесины, от общего потребления энергии, невелика и составляет в США 1,6 %, в Канаде 2,2, во Франции 1,8, в ФРГ 0,9, Австрии 1,3, Швейцарии 1,1 %. Повышенное значение доли использования древесины на топливо от общего его потребления имеет место в Финляндии (8,9 %), в Швеции (3,3 %) и Турции (22,9 %).

Характерным для развитых капиталистических стран является высокая степень использования на топливо древесных отходов. В общем объеме используемой на топливо древесины древесные отходы составляют в США 70 %, в Канаде 65, во Франции 28, в ФРГ 62, в Швеции 51, в Финляндии 53 %.

### 1.3. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ КАК ТОПЛИВА В СССР

Основной объем древесной биомассы, используемой на топливо в Советском Союзе, занимают дрова. В табл. 1 приведены данные по заготовке дров на топливо, а также по добыче торфа и горючих сланцев, исчисленные в тоннах условного топлива и в процентах от общей добычи всех видов топлива по Советскому Союзу.

Таким образом, дрова по объему их использования на топливо составляют до сих пор значительную величину. По тепловой энергии годовое использование дров эквивалентно годовой добыче торфа и сланцев вместе взятых. В то же время в топливном балансе страны дрова составляли всего 1,1 %, что обусловлено колоссальными объемами добычи нефти, природного газа и каменного угля.

Кроме дров, в лесной и деревообрабатывающей промышленности в настоящее время используется на топливо около

12 млн. м<sup>3</sup> древесных отходов, что эквивалентно приблизительно 3 млн. т условного топлива. В будущем объем дровяной древесины, используемой на топливо, будет сокращаться ввиду увеличения производства из нее технологической щепы.

Дрова используются в основном как бытовое топливо в сельской местности. Целесообразно для восполнения уменьшения поставки дров наладить производство топливных брикетов из древесных отходов как превосходного бытового топлива, пре-

#### 1. Заготовка дров и добыча торфа и сланцев

| Год  | Дрова                  |      | Торф                   |     | Сланцы                 |     |
|------|------------------------|------|------------------------|-----|------------------------|-----|
|      | млн. т<br>усл. топлива | %    | млн. т<br>усл. топлива | %   | млн. т<br>усл. топлива | %   |
| 1913 | 9,7                    | 20,1 | 0,7                    | 1,4 | —                      | —   |
| 1940 | 34,2                   | 14,4 | 13,6                   | 5,7 | 0,7                    | 0,8 |
| 1945 | 28,4                   | 15,4 | 9,2                    | 4,9 | 0,4                    | 0,2 |
| 1946 | 28,0                   | 13,8 | 11,2                   | 5,5 | 0,7                    | 0,4 |
| 1950 | 27,0                   | 9,0  | 14,8                   | 4,8 | 1,3                    | 0,4 |
| 1955 | 32,4                   | 6,7  | 20,8                   | 4,3 | 3,3                    | 0,7 |
| 1960 | 28,7                   | 4,1  | 20,4                   | 2,9 | 4,8                    | 0,7 |
| 1965 | 33,5                   | 3,5  | 17,0                   | 1,7 | 7,4                    | 0,8 |
| 1970 | 26,6                   | 2,2  | 17,7                   | 1,5 | 8,8                    | 0,7 |
| 1975 | 25,4                   | 1,6  | 18,5                   | 1,2 | 10,8                   | 0,7 |
| 1980 | 22,8                   | 1,2  | 7,3                    | 0,4 | 11,8                   | 0,6 |
| 1981 | 22,9                   | 1,2  | 12,6                   | 0,6 | 11,7                   | 0,6 |
| 1982 | 23,3                   | 1,2  | 8,3                    | 0,4 | 11,2                   | 0,6 |
| 1983 | 23,1                   | 1,1  | 8,6                    | 0,4 | 10,5                   | 0,5 |

восходящего дрова по показателю транспортабельности почти в 2 раза.

Основную массу древесных отходов, не находящихся технологического применения, предполагается в дальнейшем использовать на топливо при прямом сжигании их в топочных устройствах котлоагрегатов. Для этой же цели будут использоваться отходы древесины от рубок ухода, а также древесные отходы реконструкции лесных насаждений.

Энергетическое использование древесных отходов может получить в Советском Союзе более широкое распространение только в том случае, если будет разработано и будет серийно выпускаться в заводском исполнении технологическое и теплотехническое оборудование котельных, предназначенных для работы на древесных отходах. Это оборудование должно обеспечивать полную механизацию и автоматизацию работ по подготовке древесных отходов для сжигания, складированию, хранению, внутризаводскому транспорту и эффективному сжиганию.

Наибольшее значение древесных отходов имеет в котельных малой производительности, где штатный коэффициент недопустимо высок,

## 2. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

В последнее время как в Советском Союзе, так и в зарубежных странах все большее распространение получает термин древесная биомасса.

Древесной биомассой называют все многообразие органических веществ, образующихся в результате жизнедеятельности древовидных растений. Древесной биомассой, таким образом, являются все вещества, из которых состоят листья, хвоя, недревесневшие побеги, сучья, ветви, вершины, ствол дерева, кора и корневая система. Физико-химические и теплотехнические свойства различных видов древесной биомассы имеют некоторые различия, оказывающие определенное влияние на эффективность их использования в энергетических целях. Это делает целесообразным изучение основных характеристик различных видов древесной биомассы.

Из всего многообразия различных видов древесной биомассы разумно выделить следующие основные, имеющие наибольшее практическое значение при энергетическом использовании биомассы, а именно: стволую древесину, кору, древесную гниль и биомассу элементов кроны деревьев. Рассмотрим основные характеристики этих видов древесной биомассы.

### 2.1. ВЛАЖНОСТЬ, ЗОЛЬНОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ

**2.1.1. Влажность.** Влажность древесной биомассы — это количественная характеристика, показывающая содержание в биомассе влаги. Различают абсолютную и относительную влажность биомассы.

Абсолютной влажностью называют отношение массы влаги к массе сухой древесины:

$$W_a = \frac{m - m_0}{m_0} 100,$$

где  $W_a$  — абсолютная влажность, %;  $m$  — масса образца во влажном состоянии, г;  $m_0$  — масса того же образца, высушенного до постоянного значения, г.

Относительной или рабочей влажностью называют отношение массы влаги к массе влажной древесины:

$$W^p = \frac{m - m_0}{m} 100,$$

где  $W^p$  — относительная, или рабочая, влажность.

Пересчет абсолютной влажности в относительную и наоборот производится по формулам:

$$W^p = \frac{100 W_a}{100 + W_a}; W_a = \frac{100 W^p}{100 - W^p}. \quad (2.1)$$

При расчетах процессов сушки древесины используется абсолютная влажность. В теплотехнических расчетах применяются только относительная, или рабочая, влажность. С учетом этой установившейся традиции в дальнейшем мы будем пользоваться только относительной влажностью.

Различают две формы влаги, содержащейся в древесной биомассе: связанную (гигроскопическую) и свободную. Связанная влага находится внутри стенок клеток и удерживается физико-химическими связями; удаление этой влаги сопряжено с дополнительными затратами энергии и существенно отражается на большинстве свойств древесинного вещества.

Свободная влага находится в полостях клеток и в межклеточных пространствах. Свободная влага удерживается только механическими связями, удаляется значительно легче и оказывает меньшее влияние на механические свойства древесины.

Состояние древесинного вещества, при котором свободная влага отсутствует, а клеточные стенки содержат максимальное количество связанной влаги, соответствует пределу насыщения или пределу гигроскопичности.

Пределом насыщения  $W_{п.н}$  называют максимальную влажность древесинного вещества клеточных стенок свежесрубленной древесины или древесины, увлажненной путем длительного выдерживания в воде.

Пределом гигроскопичности  $W_{п.г}$  называют максимальную влажность клеточных стенок древесинного вещества при увлажнении его в насыщенном влагой воздухе.

При выдерживании древесины на воздухе происходит обмен влагой между воздухом и древесинным веществом. Если влажность древесинного вещества очень высока, то при этом обмене происходит высыхание древесины. Если влажность его низка, то древесинное вещество увлажняется. При длительном пребывании древесины на воздухе, стабильных температуре и относительной влажности воздуха влажность древесины становится также стабильной; это достигается тогда, когда упругость паров воды окружающего воздуха сравняется с упругостью паров воды у поверхности древесины. Величина устойчивой влажности древесины, выдержанной длительное время при определенной температуре и влажности воздуха, одинакова для всех древесных пород, но зависит от направления процесса. В процессе сушки древесины устойчивая влажность выше той, которая получается в процессе увлажнения древесины. Разницу между устойчивыми значениями влажности при

сушке и увлажнении принято называть гистерезисом сорбции.

Мелкая древесина (опилки, стружка, щепа) с большой удельной поверхностью имеют ничтожно малый гистерезис сорбции и ее устойчивую влажность называют равновесной  $W^p$ .

Равновесная влажность одинакова у древесины различных пород и полностью определяется параметрами воздуха, в среде которого она находится, т. е. его температурой  $t$  и относительной влажностью  $\phi$ .

**Влажность стволовой древесины.** В зависимости от величины влажности стволовую древесину подразделяют на мокрую, свежесрубленную, воздушно-сухую, комнатно-сухую и абсолютно сухую.

Мокрой называют древесину, длительное время находившуюся в воде, например при сплаве или сортировке в водном бассейне. Влажность мокрой древесины  $W^p$  превышает 50 %.

Свежесрубленной называют древесину, сохранившую влагу растущего дерева. Она зависит от породы древесины и изменяется в пределах  $W^p=33...50$  %.

Средняя влажность свежесрубленной древесины составляет, %, у ели 48, у лиственницы 45, у пихты 50, у сосны кедровой 48, у сосны обыкновенной 47, у ивы 46, у липы 38, у осины 45, у ольхи 46, у тополя 48, у березы бородавчатой 44, у бука 39, у вяза 44, у граба 38, у дуба 41, у клена 33.

Воздушно-сухая — это древесина, выдержанная длительное время на открытом воздухе. Во время пребывания на открытом воздухе древесина постоянно подсыхает и ее влажность постепенно снижается до устойчивой величины. Влажность воздушно-сухой древесины  $W^p=13...17$  %.

Комнатно-сухая древесина — это древесина, длительное время находящаяся в отапливаемом и вентилируемом помещении. Влажность комнатно-сухой древесины  $W^p=7...11$  %.

Абсолютно сухая — древесина, высушенная при температуре  $t=103\pm 2$  °С до постоянной массы. В растущем дереве влажность стволовой древесины распределена неравномерно. Она изменяется как по радиусу, так и по высоте ствола.

**Влажность коры.** Влажность коры в свежесрубленном состоянии изменяется в широких пределах. По исследованиям Н. Л. Леонтьева [24], влажность коры отдельных участков бревен колебалась у сосновых сортиментов от 40 до 211 %, у еловых от 40 до 159 % и у березовых от 38 до 82 % абсолютной влажности. У коры сосны влажность существенно изменяется по высоте ствола, при этом влажность коры комлевых бревен ниже влажности вершинных. У ели и березы влажность коры по высоте ствола почти одинакова.

По данным А. В. Жидкова [12], относительная влажность

коры хвойных пород увеличивается при сплаве до 80...84 %, влажность луба при этом доходит до 85...90 %. Поскольку относительная критическая влажность коры составляет 60 %, то очевидно, что кора хвойных пород после сплава перед сжиганием должна быть обезвожена тем или другим способом.

Интересные данные по водопоглощению компонентов коры получены Свердловским лесным институтом (табл. 2).

**Влажность древесной гнили.** Различают два вида гниения древесины: коррозионное и деструктивное. При коррозионном гниении в древесине образуются отверстия, которые по-

## 2. Средние значения абсолютной влажности компонентов коры [61]

| Вид древесины   | Абсолютная влажность по породам, % |     |       |       |     |       |        |     |       |
|-----------------|------------------------------------|-----|-------|-------|-----|-------|--------|-----|-------|
|                 | ели                                |     |       | сосны |     |       | березы |     |       |
|                 | Кора                               | Луб | Корка | Кора  | Луб | Корка | Кора   | Луб | Корка |
| Сплавная        | 217                                | 286 | 87    | 238   | 486 | 127   | —      | —   | —     |
| Свежесрубленная | 67                                 | 156 | 21    | 60    | 184 | 27    | 61     | 72  | 7     |

степенно увеличиваются, и древесина приобретает характерную ячеистую структуру. При деструктивном гниении происходит равномерное растворение оболочек клеток без образования крупных отверстий.

Максимальная влажность стволовой древесины ограничена суммарным объемом полостей клеток и межклеточных пространств. При гниении древесины ее клетки разрушаются, в результате чего образуются дополнительные внутренние полости, структура гнилой древесины по мере развития процесса гниения становится рыхлой, пористой, прочность древесины при этом резко снижается.

По указанным причинам влажность древесной гнили не ограничена и может достигнуть столь высоких значений, при которых ее сжигание станет неэффективным. Увеличенная пористость гнилой древесины делает ее очень гигроскопичной, находясь на открытом воздухе, она быстро увлажняется.

**Влажность элементов кроны.** В Крестецком лесопрохозе в течение многих лет осуществлялась вывозка деревьев. Элементы кроны — ветви, сучья, вершины измельчались на нижнем складе в топливную щепу с помощью рубительной машины ДУ-2 и использовались в качестве топлива для энергохимической установки или в котельной. В составе щепы были также хвойные лапки, листья, недревесневшие побеги. Влажность такой щепы, по данным С. И. Головова и Л. Т. Опомах, приведена в табл. 3.

Приведенные данные показывают, что значительная часть щепы из лесосечных отходов вследствие широкого варьирования

### 3. Влажность щепы из отходов лесозаготовок при вывозке деревьев [9]

| Месяц    | Значение влажности щепы, % |                          | Коэффициент изменчивости |
|----------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
|          | Среднее                    | Ошибка среднего значения |                          |
| Январь   | 50,5                       | ±0,5                     | ±7,9                     |
| Февраль  | 48,9                       | ±0,2                     | ±8,9                     |
| Март     | 48,6                       | ±0,3                     | ±9,2                     |
| Май      | 46,1                       | ±0,4                     | ±10,7                    |
| Сентябрь | 48,5                       | ±0,3                     | ±7,5                     |
| Октябрь  | 47,5                       | ±0,3                     | ±9,3                     |

рассматриваемого параметра имеет влажность более 50 %. Среднее значение влажности щепы близко к 50 %.

**2.1.2. Зольность.** Зольностью называют содержание в топливе минеральных веществ, остающихся после полного сгорания всей горючей массы. Зола является нежелательной частью топлива, так как снижает содержание горючих элементов и затрудняет эксплуатацию топочных устройств.

При проведении анализов содержание золы подсчитывается на сухую массу топлива. Пересчет зольности на рабочую массу проводится по формуле

$$A^p = A^c \left( \frac{100 - W^p}{100} \right), \quad (2.2)$$

где  $A^p$  — содержание золы в расчете на рабочую массу, %;  $A^c$  — содержание золы на сухую массу топлива, %;  $W^p$  — рабочая влажность топлива, %.

Зола подразделяется на внутреннюю, содержащуюся в древесном веществе, и внешнюю, попавшую в топливо при заготовке, хранении и транспортировании биомассы. В зависимости от вида зола имеет различную плавкость при нагревании до высокой температуры. Легкоплавкой называется зола, имеющая температуру начала жидкоплавкого состояния ниже 1350°. Среднеплавкая зола имеет температуру начала жидкоплавкого состояния в пределах 1350—1450 °С. У тугоплавкой золы эта температура выше 1450 °С.

Внутренняя зола древесной биомассы является тугоплавкой, а внешняя — легкоплавкой. Содержание золы в различных частях деревьев различных пород показано в табл. 4.

**Зольность стволовой древесины.** Содержание внутренней золы стволовой древесины изменяется в пределах от 0,2 до 1,17 %. На основании этого в соответствии с рекомендациями по нормативному методу теплового расчета котельных агрегатов [58] в расчетах топочных устройств зольность стволовой древесины всех пород должна приниматься равной 1 % сухой массы

### 4. Распределение золы в частях дерева для различных пород [19]

| Порода | Количество золы в абсолютно сухой массе, % |             |                     |
|--------|--------------------------------------------|-------------|---------------------|
|        | Ствол                                      | Кора        | Ветви, сучья, корни |
| Сосна  | 0,2 ... 0,7                                | 1,4 ... 2,2 | 0,3 ... 0,7         |
| Ель    | 0,2                                        | 2,3         | 0,3 ... 0,4         |
| Береза | 0,2 ... 0,4                                | 2,4         | 0,3 ... 0,6         |
| Осина  | 0,2 ... 0,3                                | 2,7         | 0,3                 |

древесины. Это правомерно, если попадание минеральных включений в измельченную стволовую древесину исключено.

**Зольность коры.** Зольность коры больше зольности стволовой древесины. Одной из причин этого является то, что поверхность коры все время роста дерева обдувается атмосферным воздухом и улавливает при этом содержащиеся в нем минеральные аэрозоли.

По наблюдениям, проведенным ЦНИИМОД для сплавной древесины в условиях архангельских лесопильных и деревообрабатывающих предприятий, зольность отходов окорки составляла

### 5. Содержание золы в различных составных частях коры различных пород [34]

| Порода | Содержание золы, % | Порода | Содержание золы, % |
|--------|--------------------|--------|--------------------|
| Сосна  | 2,19               | Береза | 2,43               |
|        | 1,39               |        | 0,52               |
| Ель    | 2,23               | Осина  | 2,73               |
|        | 2,31               |        | —                  |

Примечание. В числителе — луб, в знаменателе — корка.

у ели 5,2, у сосны 4,9 %. Повышение зольности коры в этом случае объясняется загрязнением коры во время сплава хлыстов по рекам.

Содержание золы в различных составных частях коры, по данным В. М. Никитина, показано в табл. 5.

Зольность коры различных пород на сухую массу, по данным А. И. Померанского [40], составляет: сосна 3,2 %, ель 3,95, береза 2,7, ольха 2,4 %. По данным НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова, зольность коры различных пород варьирует от 0,5 до 8 %.

**Зольность элементов кроны.** Зольность элементов кроны превышает зольность древесины и зависит от породы древесины и места ее произрастания. По данным В. М. Никитина, зольность листьев 3,5 %. Ветки и сучья имеют внутреннюю

зольность от 0,3 до 0,7 %. Однако в зависимости от типа технологического процесса заготовки древесины их зольность существенно изменяется из-за загрязнения их внешними минеральными включениями. Загрязнение ветвей и сучьев в процессе заготовки, трелевки и вывозки наиболее интенсивно при влажной погоде весной и осенью.

**2.1.3. Плотность.** Плотность материала характеризуется отношением его массы к объему. При изучении этого свойства применительно к древесной биомассе различают следующие показатели: плотность древесинного вещества, плотность абсолютно сухой древесины, плотность влажной древесины.

Плотность древесинного вещества — это отношение массы материала, образующего стенки клеток, к занимаемому им объему. Плотность древесинного вещества одинакова для всех пород древесины и равна 1,53 г/см<sup>3</sup>.

Плотность абсолютно сухой древесины есть отношение массы этой древесины к занимаемому ею объему:

$$\rho_0 = m_0 / V_0, \quad (2.3)$$

где  $\rho_0$  — плотность абсолютно сухой древесины;  $m_0$  — масса образца древесины при  $W^p=0$ ;  $V_0$  — объем образца древесины при  $W^p=0$ .

Плотность влажной древесины представляет собой отношение массы образца при данной влажности к его объему при той же влажности:

$$\rho_w = m_w / V_w, \quad (2.4)$$

где  $\rho_w$  — плотность древесины при влажности  $W^p$ ;  $m_w$  — масса образца древесины при влажности  $W^p$ ;  $V_w$  — объем, занимаемый образцом древесины при влажности  $W^p$ .

По рекомендации комиссии СЭВ, все показатели физико-механических свойств древесины определяются при абсолютной влажности 12 % и пересчитываются на эту влажность.

**Плотность стволовой древесины.** Величина плотности стволовой древесины зависит от ее породы, влажности и коэффициента разбухания  $K_p$ . Все породы древесины по отношению к коэффициенту разбухания  $K_p$  разделяются на две группы. К первой группе относятся породы, у которых коэффициент разбухания  $K_p=0,6$  (белая акация, береза, бук, граб, лиственница). Ко второй группе относятся все остальные породы, у которых  $K_p=0,5$ .

По первой группе для белой акации, березы, бука, граба, лиственницы плотность стволовой древесины можно вычислить по следующим формулам:

$$\rho_w = 0,957 \frac{100}{100 - 0,4 W^p} \rho_{12}, \quad W^p < 23\%; \quad (2.5)$$

$$\rho_w = 0,81 \frac{100}{100 - W^p} \rho_{12}, \quad W^p > 23\%.$$

Для всех остальных пород плотность стволовой древесины вычисляется по формулам:

$$\rho_w = 0,946 \frac{100}{100 - 0,5 W^p} \rho_{12}, \quad W^p < 23\%; \quad (2.6)$$

$$\rho_w = 0,823 \frac{100}{100 - W^p} \rho_{12}, \quad W^p > 23\%,$$

где  $\rho_{12}$  — плотность при стандартной влажности, т. е. при абсолютной влажности 12 %.

Величина плотности при стандартной влажности определяется для различных пород древесины по табл. 6.

**6. Плотность стволовой древесины различных пород при стандартной влажности и в абсолютно сухом состоянии**

| Порода       | Плотность, кг/м <sup>3</sup>          |                                      | Порода             | Плотность, кг/м <sup>3</sup>          |                                      |
|--------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
|              | $\rho_{12}$ при стандартной влажности | $\rho_0$ в абсолютно сухом состоянии |                    | $\rho_{12}$ при стандартной влажности | $\rho_0$ в абсолютно сухом состоянии |
| Лиственница  | 660                                   | 630                                  | Ясень обыкновенный | 680                                   | 645                                  |
| Сосна        | 500                                   | 470                                  | Бук                | 670                                   | 640                                  |
| Кедр         | 435                                   | 410                                  | Вяз                | 650                                   | 615                                  |
| Пихта        | 375                                   | 350                                  | Береза             | 630                                   | 600                                  |
| Граб         | 800                                   | 760                                  | Орех грецкий       | 590                                   | 560                                  |
| Акация белая | 800                                   | 760                                  | Ольха              | 520                                   | 490                                  |
| Груша        | 710                                   | 670                                  | Осина              | 495                                   | 470                                  |
| Дуб          | 690                                   | 650                                  | Липа               | 495                                   | 470                                  |
| Клен         | 690                                   | 650                                  | Ива                | 455                                   | 430                                  |

**Плотность коры.** Плотность коры исследована гораздо меньше. Имеются лишь отрывочные данные, которые дают довольно пеструю картину этого свойства коры. В настоящей работе будем ориентироваться на данные М. Н. Симонова [52] и Н. Л. Леонтьева [24]. Для расчета плотности коры прием формулы той же структуры, что и формулы для расчета плотности стволовой древесины, подставив в них коэффициенты объемного разбухания коры. Плотность коры будем подсчитывать по следующим формулам:

коры сосны

$$\rho_w = \frac{(100 - W^p) \rho_{12}}{103,56 - 1,332 W^p}, \quad W^p < 23\%; \quad (2.7)$$

$$\rho_w = \frac{\rho_{12}}{1,231 (1 - 0,01 W^p)}, \quad W^p > 23\%;$$

кору ели

$$\rho_w = \frac{(100 - W^p) \rho_{12}}{102,38 - 1,222 W^p}, \quad W^p < 23\%; \quad (2.8)$$

$$\rho_w = \frac{\rho_{12}}{1,253 (1 - 0,01 W^p)}, \quad W^p > 23\%;$$

кору березы

$$\rho_w = \frac{(100 - W^p) \rho_{12}}{101,19 - 1,111 W^p}, \quad W^p < 23\%; \quad (2.9)$$

$$\rho_w = \frac{\rho_{12}}{1,277 (1 - 0,01 W^p)}, \quad W^p > 23\%.$$

Плотность коры при стандартной влажности  $\rho_{12}$  приведена в табл. 7.

#### 7. Плотность коры при стандартной влажности и в абсолютно сухом состоянии

| Порода | Плотность коры, кг/м <sup>3</sup>     |                                      |
|--------|---------------------------------------|--------------------------------------|
|        | при стандартной влажности $\rho_{12}$ | в абсолютно сухом состоянии $\rho_0$ |
| Сосна  | 680                                   | 652                                  |
| Ель    | 730                                   | 715                                  |
| Береза | 745                                   | 736                                  |

Плотность луба значительно выше, чем плотность корки. Об этом свидетельствуют данные А. Б. Большакова (СвердНИИПдрев) о плотности частей коры в абсолютно сухом состоянии (табл. 8).

#### 8. Плотность луба и корки в абсолютно сухом состоянии

| Порода | Плотность, кг/м <sup>3</sup> |       |
|--------|------------------------------|-------|
|        | луба                         | корки |
| Сосна  | 808                          | 296   |
| Ель    | 929                          | 638   |
| Береза | 847                          | 524   |

**Плотность гнилой древесины.** Плотность гнилой древесины в начальной стадии гниения обычно не понижается, а в некоторых случаях даже увеличивается. При дальнейшем развитии процесса гниения плотность гнилой древесины уменьшается и в конечной стадии становится значительно меньше плотности здоровой древесины.

Зависимость плотности гнилой древесины от стадии поражения ее гнилью приведена в табл. 9.

#### 9. Плотность гнили древесины в зависимости от стадии ее поражения

| Стадия гнили древесины ели                            | Плотность древесины, г/см <sup>3</sup> | Содержание золы, % |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| Неповрежденная древесина                              | 0,52                                   | 0,51               |
| С легким разрушением коррозионного типа               | 0,45                                   | 0,75               |
| Со средним разрушением коррозионного типа             | 0,40                                   | 1,11               |
| С сильным разрушением коррозионного типа              | 0,33                                   | 2,50               |
| С очень сильным разрушением коррозионного типа        | 0,15                                   | 2,03               |
| С разрушением деструктивного типа при стадии гниения: |                                        |                    |
| I                                                     | 0,44                                   | 0,64               |
| II                                                    | 0,38                                   | 1,44               |
| III                                                   | 0,30                                   | 1,15               |

В первом приближении плотность древесной гнили может быть определена по следующим формулам:

гнили осины и сосны

$$\rho_w = \frac{\rho_{15} (100 - W^p)}{107,5 - 1,575 W^p}, \quad W^p < 23\%; \quad (2.10)$$

$$\rho_w = \frac{\rho_{15} 100}{1,203 (100 - W^p)}, \quad W^p > 23\%;$$

гнили березы

$$\rho_w = \frac{\rho_{15} (100 - W^p)}{106 - 1,46 W^p}, \quad W^p < 23\%; \quad (2.11)$$

$$\rho_w = \frac{\rho_{15} 100}{1,222 (100 - W^p)}, \quad W^p > 23\%.$$

Значение  $\rho_{15}$  гнилой древесины равно: гниль осины  $\rho_{15} = 280$  кг/м<sup>3</sup>, гниль сосны  $\rho_{15} = 260$  кг/м<sup>3</sup>, гниль березы  $\rho_{15} = 300$  кг/м<sup>3</sup>.

**Плотность элементов кроны деревьев.** Плотность элементов кроны практически не изучена. В топливной щепе из элементов кроны преобладающим по объему компонентом является щепа из сучьев и ветвей, близкая по показателям плотности к ствольной древесине. Поэтому при проведении практических расчетов в первом приближении можно принять плотность элементов кроны равной плотности ствольной древесины соответствующей породы.

## 2.2. ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ СОСТАВ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

Древесную биомассу в том виде, в котором она поступает в топку котлоагрегатов, называют рабочим топливом. Состав древесной биомассы, т. е. содержание в ней отдельных элементов, характеризуется следующим уравнением:

$$C^p + H^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100\%, \quad (2.12)$$

где  $C^p$ ,  $H^p$ ,  $O^p$ ,  $N^p$  — содержание в древесной массе соответственно углерода, водорода, кислорода и азота, %;  $A^p$ ,  $W^p$  — содержание в топливе соответственно золы и влаги.

Для характеристики топлива в теплотехнических расчетах пользуются понятиями сухая масса и горючая масса топлива.

Сухая масса топлива представляет собой в данном случае биомассу, высушенную до абсолютно сухого состояния. Ее состав выражается уравнением

$$C^c + H^c + O^c + N^c + A^c = 100\%. \quad (2.13)$$

Горючая масса топлива — это биомасса, из которой удалены влага и зола. Ее состав определяется уравнением

$$C^g + H^g + O^g + N^g = 100\%. \quad (2.14)$$

Индексы у знаков компонентов биомассы означают:  $p$  — содержание компонента в рабочей массе,  $c$  — содержание ком-

### 10. Формулы пересчета состава и теплоты сгорания топлива

| Заданная масса топлива | Искомая масса топлива         |                         |                               |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
|                        | горючая                       | сухая                   | рабочая                       |
| Горючая                | 1                             | $\frac{100 - A^c}{100}$ | $\frac{100 - W^p - A^p}{100}$ |
| Сухая                  | $\frac{100}{100 - A^c}$       | 1                       | $\frac{100 - W^p}{100}$       |
| Рабочая                | $\frac{100}{100 - A^p - W^p}$ | $\frac{100}{100 - W^p}$ | 1                             |

понента в сухой массе,  $g$  — содержание компонента в горючей массе топлива.

Пересчет содержания компонентов из одного вида массы в другой производится по формулам табл. 10.

**Элементарный состав стволовой древесины.** Одной из примечательных особенностей стволовой древесины является удивительная стабильность ее элементарного состава горючей массы.

Элементарный состав горючей массы стволовой древесины практически одинаков для всех пород. Это наглядно видно из данных табл. 11, являющихся обобщением большого количества реальных замеров.

### 11. Основные характеристики горючей массы стволовой древесины

| Порода деревьев | Элементарный состав древесины, % |       |       |       | Выход летучих на горючую массу, % | Теплота сгорания на горючую массу, кДж/кг |
|-----------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------------|-------------------------------------------|
|                 | $C^g$                            | $H^g$ | $O^g$ | $N^g$ |                                   |                                           |
| Хвойные         | 51,0                             | 6,15  | 42,25 | 0,6   | 85                                | 19 079                                    |
| Лиственные      | 50,5                             | 6,10  | 42,80 | 0,6   | 85                                | 18 660                                    |
| Смешанные       | 51,0                             | 6,10  | 42,30 | 0,6   | 85                                | 18 870                                    |

Как правило, варьирование содержания отдельных компонентов горючей массы стволовой древесины находится в пределах погрешности технических измерений. На основании этого

### 12. Элементарный состав отходов лесозаготовок в расчете на массу сухого вещества

| Вещество  | $Q_{H^p}^p$ ,<br>кДж/кг | Элементарный состав сухого вещества, % |                |                                 |                |
|-----------|-------------------------|----------------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|
|           |                         | C <sup>c</sup>                         | H <sup>c</sup> | O <sup>c</sup> + N <sup>c</sup> | A <sup>c</sup> |
| Сосна     |                         |                                        |                |                                 |                |
| Древесина | 20 640                  | 50,78                                  | 6,02           | 42,71                           | 0,49           |
| Кора      | 20 220                  | 50,02                                  | 6,28           | 40,50                           | 3,2            |
| Хвоя *    | 19 460                  | 49,66                                  | 6,72           | 40,23                           | 3,34           |
| Ель       |                         |                                        |                |                                 |                |
| Древесина | 20 100                  | 51,81                                  | 5,97           | 41,41                           | 0,81           |
| Кора      | 20 330                  | 51,09                                  | 6,11           | 38,05                           | 3,95           |
| Хвоя      | 20 530                  | 49,68                                  | 6,31           | 39,50                           | 4,51           |
| Береза    |                         |                                        |                |                                 |                |
| Древесина | 19 540                  | 49,90                                  | 6,37           | 43,98                           | 0,75           |
| Кора      | 22 970                  | 52,87                                  | 6,68           | 38,31                           | 2,7            |
| Ольха     |                         |                                        |                |                                 |                |
| Древесина | 19 800                  | 49,92                                  | 6,44           | 43,20                           | 0,44           |
| Кора      | 22 110                  | 52,13                                  | 6,62           | 38,84                           | 2,41           |

\* Теплота сгорания сосновой хвон взята при 14 %-ной влажности.

при теплотехнических расчетах, наладке топочных устройств, сжигающих стволовую древесину и т. п., можно без большой погрешности принимать следующий состав стволовой древесины на горючую массу:  $C^g = 51\%$ ,  $H^g = 6,1\%$ ,  $O^g = 42,3\%$ ,  $N^g = 0,6\%$ .



**Элементарный состав коры.** Элементарный состав коры различных пород изучен слабо. Имеются только отдельные работы в этой области, не позволяющие сделать какие-либо широкие обобщения.

Анализируя немногочисленные данные по элементарному составу коры, можно заключить, что элементарный состав и зольность коры различных пород варьируют в следующих пределах, %:  $C^r = 49,0 \dots 58,0$ ;  $H^r = 5,2 \dots 7,0$ ;  $O^r = 38,0 \dots 45,9$ ;  $A^c = 0,5 \dots 8,0$ .

**Элементарный состав древесной гнили.** Различают коррозионный и деструктивный процессы гниения древесины. Исследования химического состава гнилой древесины показали, что при коррозионном процессе гниения содержание лигнина уменьшается, а содержание целлюлозы почти не меняется.

Примерами коррозионной, или ячеистой, гнили являются гниль сосны от сосновой губки и гниль ели от корневой губки.

При деструктивном процессе гниения (домовые грибы) увеличивается содержание лигнина и уменьшается содержание целлюлозы. Лигнин содержит больше углерода, чем целлюлоза, поэтому содержание углерода при деструктивном гниении увеличивается, а при коррозионном остается на одном уровне или снижается более медленными темпами.

**Элементарный состав частей кроны деревьев.** Элементарный состав частей кроны изучен недостаточно. В табл. 12 приводятся данные по элементарному составу отходов лесозаготовки.

### 2.3. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

Теплотой сгорания биомассы называется количество тепла, выделяемое при сгорании 1 кг вещества. Различают высшую и низшую теплоту сгорания.

Высшая теплота сгорания — это количество тепла выделившееся при сгорании 1 кг биомассы при полной конденсации всех паров воды, образовавшихся при горении, с отдачей ими тепла, израсходованного на их испарение (так называемой скрытой теплоты парообразования).

Высшая теплота сгорания  $Q_v^p$  определяется по формуле Д. И. Менделеева (кДж/кг):

$$Q_v^p = 340C^p + 1260H^p - 109O^p. \quad (2.15)$$

Низшая теплота сгорания — количество тепла, выделившееся при сгорании 1 кг биомассы, без учета тепла, израсходованного на испарение влаги, образовавшейся при сгорании этого топлива. Ее значение определяется по формуле (кДж/кг):

$$Q_n^p = 340C^p + 1030H^p - 109O^p - 25W^p. \quad (2.16)$$

Теплота сгорания, вычисленная по этим формулам, имеет размерность килоджоуль на килограмм.

**Теплота сгорания стволовой древесины.** Теплота сгорания стволовой древесины зависит только от двух величин: зольности и влажности. Низшая теплота сгорания горючей массы стволовой древесины практически постоянна и равна 18,9 МДж/кг (4510 ккал/кг). На основании стабильности горючей массы стволовой древесины и независимости ее от породы древесины нетрудно вывести формулу теплоты сгорания стволовой древесины для любой влажности и зольности. Она будет иметь следующий вид:

$$Q_n^p = 18900 - 214W^p - 189A^p, \quad (2.17)$$

где  $Q_n^p$  — теплота сгорания стволовой древесины при влажности  $W^p$  и зольности  $A^p$ , кДж/кг.

**Теплота сгорания коры.** Исследования по теплоте сгорания коры различных пород древесины очень малочисленны, и можно привести лишь ориентировочные данные по данному показателю. Для ориентировочных расчетов можно принять следующие значения низшей теплоты сгорания коры различных пород древесины в расчете на горючую массу, кДж/кг: кора сосны  $Q_n^r = 20890$ , кора ели  $Q_n^r = 19330$ , кора березы  $Q_n^r = 19950$ , кора осины  $Q_n^r = 20780$ , кора лиственницы  $Q_n^r = 21870$ .

Низшая теплота сгорания коры и гнилой древесины различных пород для различной влажности и зольности может быть подсчитана по формуле

$$Q_n^p = Q_n^r \left( \frac{100 - W^p - A^p}{100} \right) - 25W^p, \quad (2.18)$$

где  $Q_n^p$  и  $Q_n^r$  — теплота сгорания древесной коры соответственно на рабочую и горючую массу, кДж/кг.

**Теплота сгорания древесной гнили.** Теплота сгорания гнилой древесины, отнесенная к единице массы, у гнилей коррозионного типа меньше, а у гнилей деструктивного типа больше, чем у здоровой древесины.

Для приближенных расчетов можно принять следующие значения низшей теплоты сгорания гнилой древесины различных пород в расчете на горючую массу:

осины  $Q_n^r = 4422$  ккал/кг (18,5 МДж/кг);

сосны  $Q_n^r = 4829$  ккал/кг (20,2 МДж/кг);

березы  $Q_n^r = 4592$  ккал/кг (19,2 МДж/кг).

Теплота сгорания гнилой древесины при различных значениях зольности и влажности рассчитывается по той же формуле, что и теплота сгорания коры.

**Теплота сгорания элементов кроны деревьев.** Теплота сгорания элементов кроны для приближенных расчетов принимается равной теплоте сгорания ствольной древесины той же породы.

#### 2.4. КАЛОРИЙНЫЕ ЭКВИВАЛЕНТЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

Для удобства сравнения и расчетов по котельным, работающим на различных видах топлива, используется понятие условное топливо.

Условным называют топливо, имеющее низшую теплоту сгорания в расчете на рабочую массу 29,3 МДж/кг, или 7000 ккал/кг. Для пересчета натурального топлива в условное и наоборот служит калорийный эквивалент.

Калорийный эквивалент — количество условного топлива, эквивалентное по теплоте сгорания единице измерения массы или объема топлива. Калорийный эквивалент древесной биомассы есть количество условного топлива в тоннах, эквивалентное по теплоте сгорания одному плотному кубометру древесной биомассы.

Пересчет древесной биомассы в условное топливо производится по формуле

$$B_{\text{усл}} = V_{\text{пл}} \mathcal{E}, \quad (2.19)$$

где  $B_{\text{усл}}$  — количество условного топлива, т;  $V_{\text{пл}}$  — объем древесной биомассы, пл. м<sup>3</sup>;  $\mathcal{E}$  — калорийный эквивалент данного вида древесной биомассы, т усл. топл./пл. м<sup>3</sup>.

Калорийный эквивалент древесной биомассы определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{Q_{\text{нр}} \rho_{\text{w}}}{29,3 \cdot 10^6}, \quad (2.20)$$

где  $Q_{\text{нр}}$  — теплота сгорания, кДж/кг;  $\rho_{\text{w}}$  — плотность при  $W^{\text{p}}$ , кг/м<sup>3</sup>.

**2.4.1. Калорийный эквивалент ствольной древесины.** Калорийный эквивалент ствольной древесины зависит от породы древесины, влажности и зольности ее в расчете на рабочую массу. Определение калорийного эквивалента ствольной древесины березы, лиственницы, бука, граба и белой акации производится по номограмме рис. 1, а всех остальных пород по номограмме рис. 2. Порядок определения калорийных эквивалентов по проведенным номограммам показан стрелками. Как видно из номограмм, для определения калорийного эквивалента необходимо знать породу, влажность и зольность древесины. Если при сжигании ствольной древесины засорение ее минеральными включениями исключено, то калорийный эквивалент определяется в зависимости от влажности по верхней

линии постоянной зольности номограммы, соответствующей  $A^{\text{p}} = 1\%$ .

**2.4.2. Калорийный эквивалент древесной коры.** Свойства древесной коры изучены более слабо, чем свойства ствольной древесины, и разработать номограммы для определения калорийного эквивалента при настоящем уровне знаний не представляется возможным без допущения существенных по-

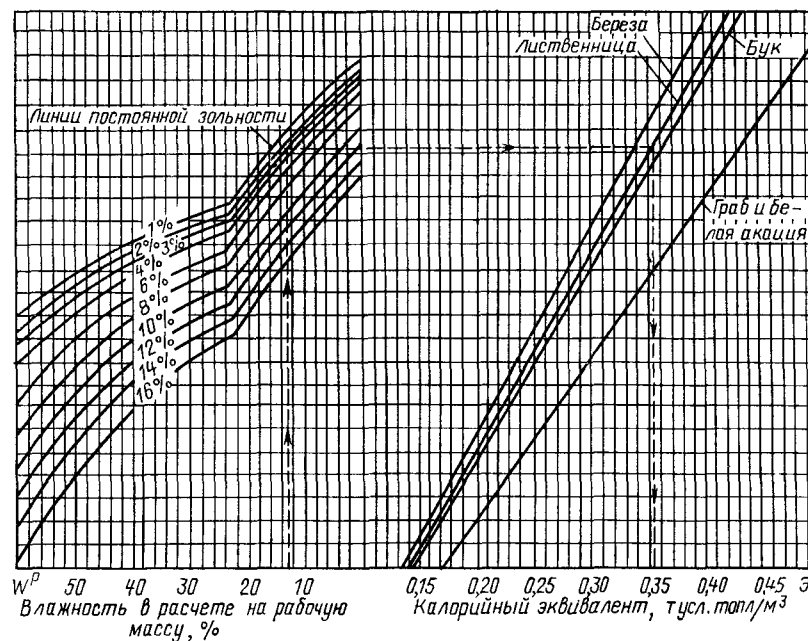


Рис. 1. Номограмма для определения калорийных эквивалентов ствольной древесины древесных пород с коэффициентом разбухания  $K_p = 0,6$

грешностей. Поэтому калорийный эквивалент рекомендуется в каждом отдельном случае вычислять по формуле (2.20). Величина теплоты сгорания при этом подсчитывается по формуле (2.18), а плотность по формулам (2.7) ... (2.9).

**2.4.3. Калорийный эквивалент гнилой древесины.** Данных по теплотехническим свойствам гнилой древесины еще меньше, чем по коре. При необходимости определения калорийных эквивалентов гнилой древесины используют формулу (2.20). Теплота сгорания гнили подсчитывается по формуле (2.18), а ее плотность по формулам (2.10) и (2.11).

**2.4.4. Калорийный эквивалент элементов кроны дерева.** Этот эквивалент принимают в первом приближении равным калорийному эквиваленту ствольной древесины той же породы, влажности и зольности.

Для практических расчетов по буферному и межсезонному хранению древесных отходов рекомендуется применять следующие расчетные величины calorийных эквивалентов для различных видов древесного топлива:

дрова  $\mathcal{E}=0,252$  т усл. топл./пл. м<sup>3</sup>;

топливная щепа из отходов лесозаготовок (не сортированная)  $\mathcal{E}=0,200$  т усл. топл./пл. м<sup>3</sup>;

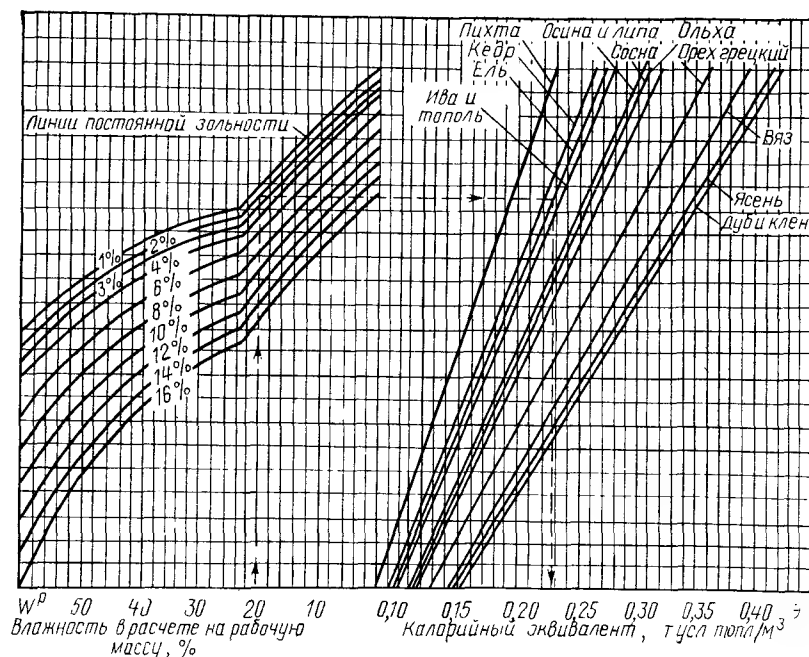


Рис. 2. Номограмма для определения calorийных эквивалентов стволной древесины древесных пород с коэффициентом разбухания  $K_p=0,5$

топливная щепа из отходов деревообработки (не сортированная, при отсутствии сушки)  $\mathcal{E}=0,225$  т усл. топл./пл. м<sup>3</sup>;

опилки от производства сортиментов и пиломатериалов (из свежесрубленной древесины)  $\mathcal{E}=0,230$  т усл. топл./пл. м<sup>3</sup>.

## 2.5. КЛАССИФИКАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

В зависимости от производства, при котором образуются древесные отходы, их можно подразделить на два вида: отходы лесозаготовок и отходы деревообработки.

Отходы лесозаготовок — это отделяемые части дерева в процессе лесозаготовительного производства. К ним относятся хвоя, листья, недревесневшие побеги, ветви, сучья, вершинки,

откомлевки, козырьки, фаутные вырезки ствола, кора, отходы производства колотых балансов и т. п.

В своем естественном виде отходы лесозаготовок малотранспортабельны, при энергетическом использовании они предварительно измельчаются в щепу.

Отходы деревообработки — это отходы, образующиеся в деревообрабатывающем производстве. К ним относятся: горбыль, рейки, срезки, короткомер, стружка, опилки, отходы производства технологической щепы, древесная пыль, кора.

По характеру биомассы древесные отходы могут быть подразделены на следующие виды: отходы из элементов кроны; отходы из стволной древесины; отходы из коры; древесная гниль.

В зависимости от формы и размера частиц древесные отходы обычно подразделяются на следующие группы: кусковые древесные отходы и мягкие древесные отходы.

Кусковые древесные отходы — это откомлевки, козырьки, фаутные вырезки, горбыль, рейка, срезки, короткомеры. К мягким древесным отходам относятся опилки и стружки.

## 2.6. КОЛИЧЕСТВО ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Количество отходов при производстве конкретного вида товарной продукции из древесины определяется по ее доле, которая осталась не использованной в данном технологическом процессе.

Количество образующихся древесных отходов исчисляется обычно в процентах от объема древесного сырья, использованного при производстве продукции. Оно зависит от вида производимой продукции.

**Отходы лесозаготовок.** На основании многочисленных исследований, проведенных ЦНИИМЭ, ВНИПИЭИлеспромом, а также различными авторами при составлении массовых таблиц и других таксационных материалов, установлено, что имеется зависимость между количеством вывозимой стволной древесины и количеством отходов лесозаготовок. В первом приближении эта зависимость принимается линейной. Средние данные о количестве отходов лесозаготовок по классам и видам приведены в табл. 13.

**Отходы лесопиления.** В процессе лесопиления получают различные кусковые отходы, которые в ряде случаев используются для энергетических целей. Кусковые отходы лесопиления образуются из периферийной части бревен и при отсутствии предварительной окорки бревен имеют в своем составе такое количество коры, при котором использование их для варки целлюлозы и производства древесных плит невозможно.

Объемы образования различных видов древесных отходов в процентах от объема распиливаемого сырья приводятся в табл. 14.

### 13. Количество отходов, образующихся при лесозаготовительном производстве

| Наименование отходов лесозаготовок                       | Количество отходов от вывезенной древесины, %      | Количество отходов на 1000 м <sup>3</sup> годового оборота склада, м <sup>3</sup> |             |                  |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|
|                                                          |                                                    | всего                                                                             | в том числе |                  |
|                                                          |                                                    |                                                                                   | на лесосеке | на нижнем складе |
| А. Твердые или кусковые отходы:                          |                                                    |                                                                                   |             |                  |
| ветки, сучья, вершины                                    | 14,00                                              | 140                                                                               | 65          | 75               |
| корни                                                    | 11,00 *                                            | 110                                                                               | 110         | —                |
| пни                                                      | 3,00                                               | 30                                                                                | 30          | —                |
| откомлевки                                               | 1,75                                               | 17                                                                                | —           | 17               |
| козырьки                                                 | 0,75                                               | 7                                                                                 | —           | 7                |
| Б. Мягкие древесные отходы (опилки)                      | 1,00                                               | 10                                                                                | —           | 10               |
| В. Кора и луб:                                           |                                                    |                                                                                   |             |                  |
| кора и луб сучьев ветвей и вершин                        | 3,00                                               | 30                                                                                | 14          | 16               |
| кора средней и комлевой части дерева                     | 12                                                 | 120                                                                               | —           | 120 **           |
| Г. Древесная зелень (хвоя и листья)                      | 36 кг на 1 пл. м <sup>3</sup> вывезенной древесины | 36 т                                                                              | 18 т        | 18 т             |
| Д. Древесная лапка, тонкие ветви и недревесневшие побеги | 20 кг на 1 пл. м <sup>3</sup> вывезенной древесины | 20 т                                                                              | 10 т        | 10 т             |

\* Процент корней, которые можно извлечь механизмами.

\*\* На 1000 м<sup>3</sup> окоренной древесины.

**Примечание.** По уточненным данным ВНИПИЭЛеспрома, для лесонасаждений Советского Союза количество ветвей, сучьев и вершинок на растущих деревьях в среднем составляет 13—14 %. При валке, трелевке, вывозке часть этих отходов теряется, и на нижний склад леспромхоза при вывозке деревьев в летних условиях поступает сучьев, ветвей и вершинок не более 7,5 % от объема вывезенной древесины. В зимних условиях, когда древесина сучьев и ветвей становится хрупкой, на нижний склад поступает этого вида отходов не больше 4 % от объема вывозки.

При проведении расчетов топливного баланса объединения или предприятия в зависимости от местных условий количество древесных отходов лесопиления от объема распиливаемого сырья (%) следует принимать в следующих пределах:

|           |         |
|-----------|---------|
| Горбыль   | 5...10  |
| Стульчаки | 2...5   |
| Рейки     | 10...15 |
| Вырезки   | 2...5   |
| Опилки    | 10...15 |

**Отходы шпалопиления.** При производстве шпал для железнодорожных линий широкой колеи средний выход продукции и

### 14. Количество отходов лесопиления в процентах от объема распиливаемого сырья [54]

| Вид отходов            | Распиловка вразвал  |                   | Распиловка с обрусовкой |                     |
|------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|
|                        | на необрезные доски | на обрезные доски | при 50 % обрусовки      | при 100 % обрусовки |
| Кусковые отходы:       | 6                   | 22                | 20,5                    | 19                  |
| в том числе горбыли    | 6                   | 6                 | 8,5                     | 10                  |
| рейки                  | —                   | 14                | 10                      | 7                   |
| вырезки и торцы        | —                   | 2                 | 2                       | 2                   |
| Мягкие отходы (опилки) | 10                  | 12                | 12                      | 12                  |

древесных отходов от перерабатываемого сырья (%) составляет:

|                     |    |
|---------------------|----|
| Шпалы по ГОСТ 78—65 | 50 |
| Необрезные доски    | 13 |
| Деловой горбыль     | 16 |
| Опилки и срезки     | 13 |
| Усушка              | 8  |

При проведении практических расчетов эти цифры должны быть уточнены на основании изучения местных условий.

**Отходы окорки древесины.** Количество коры, находящейся на древесине, зависит главным образом от породы, а также от возраста деревьев, условий их произрастания, диаметра ствола и т. п.

Общее количество коры, получаемой при окорке древесины на предприятиях, с учетом потери коры в процессе лесозаготовок, изменяется в пределах от 10 до 14,5 % объема ликвидной древесины. При транспортировании древесины сплавом часть коры отваливается и фактический выход коры в среднем составляет 8...10 % от объема окоренной древесины.

В практических расчетах количество коры принимается ЦНИИМОДом в размере 10 % от объема окоренной древесины. Такое высокое содержание коры на древесине определяет важность проблем полезного использования отходов окорки древесины, учитывая все возрастающие объемы целлюлозно-бумажного производства, где окорка древесины обязательна.

### 2.7. ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Измельченной древесиной называют древесные частицы различной формы и размеров, получаемые в результате механической обработки. К измельченной древесине относятся: щепы, дробленка, стружка, опилки, древесная мука, древесная пыль.

Важнейшей характеристикой измельченной древесины является ее фракционный состав. Фракционный состав есть количе-

ственное соотношение частиц определенных размеров в общей массе измельченной древесины. Фракцией измельченной древесины называют процентное содержание частиц определенного размера в общей массе.

Измельченную древесину по размерам частиц можно подразделить на следующие виды:

древесную пыль, образующуюся при шлифовании древесины, фанеры и древесных плит; основная часть частиц проходит через сито с отверстием 0,5 мм;

опилки, образующиеся при продольной и поперечной распиловке древесины, они проходят через сито с отверстиями 5...6 мм;

щепу, получаемую при измельчении древесины и древесных отходов в рубительных машинах; основная часть щепы прохо-

#### 15. Фракционный состав щепы

| Вид производства            | Остаток (в %) на сите с диаметром отверстия, мм |                |    |        |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|----------------|----|--------|
|                             | 30                                              | 10             | 5  | Поддон |
| Целлюлоза сульфитной варки: |                                                 |                |    |        |
| 1-й сорт                    | 3                                               | 92             | 4  | 1      |
| 2-й сорт                    | 5                                               | 86             | 8  | 1      |
| Целлюлоза сульфатной варки: |                                                 |                |    |        |
| 1-й сорт                    | 4                                               | 85             | 10 | 1      |
| 2-й сорт                    | 6                                               | 81             | 10 | 3      |
| Производство ДВП            | 10                                              | 79             | 10 | 1      |
| Производство ДСП            | —                                               | 90             | —  | 7      |
| Гидролизное производство    | Не менее 5                                      | Не нормируется | —  | —      |

дит через сито с отверстиями 30 мм и остается на сите с отверстиями 5...6 мм;

крупную щепу, размеры частиц которой больше 30 мм.

Фракционный состав древесной щепы определяется при помощи ситового анализатора щепы АЛГ-М, разработанного ЦНИИМОД. Масса анализируемой пробы при этом не должна быть меньше 2,5 кг.

Нормативный фракционный состав для различных производств приведен в табл. 15.

Фракционный состав древесной щепы, предназначенной для энергетического использования, практически не нормируется (обычно на сжигание поступает щепа от рубительных машин без какой-либо сортировки), но недопустимо содержание в топливе частиц длиной, превышающей 100 мм, а также нежелательно содержание частиц размером менее 5 мм в количестве более 30 %.

Фракционный состав древесного топлива при проведении балансовых испытаний топочного устройства ВО-110 характеризовался следующими цифрами:

|                            |     |      |      |      |        |
|----------------------------|-----|------|------|------|--------|
| Диаметр отверстий сита, мм | 30  | 20   | 10   | 5    | поддон |
| Остаток частиц на сите, %  | 4,9 | 12,2 | 28,5 | 21,1 | 33,3   |

ЦНИИМОД были проведены работы по изучению фракционного состава коры, образующейся при окорке короткомерных лесоматериалов окорочными барабанами «Вилен» и «Варкау» на Архангельском ЦБК и при окорке пиловочника станками ОК-63, К-26 и «Камбио-66» на архангельских лесопильно-дере-

#### 16. Фракционный состав коры (по данным ЦНИИМОД)

| Фракции                                                                                                    | Содержание коры по массе, % |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
|                                                                                                            | Окорочные станки            | Окорочные барабаны |
| Прошло через сито с ячейками диаметром 5 мм                                                                | 4,24                        | 5,01               |
| Остаток на сите с ячейками диаметра, мм:                                                                   |                             |                    |
| 5                                                                                                          | 3,45                        | 2,80               |
| 7                                                                                                          | 4,53                        | 1,26               |
| 10                                                                                                         | 10,98                       | 5,10               |
| 15                                                                                                         | 10,82                       | 4,50               |
| Остаток на сите с ячейками 20 мм характеризуется кусками коры и отщепы с размером в одном направлении, мм: |                             |                    |
| до 50                                                                                                      | 16,67                       | 19,20              |
| 50—100                                                                                                     | 19,00                       | 29,23              |
| 100—200                                                                                                    | 13,79                       | 10,38              |
| более 200                                                                                                  | 16,52                       | 22,52              |
| Итого                                                                                                      | 100                         | 100                |

вообрабатывающих предприятиях. Установлено, что кора от станков «Камбио-66», ОК-63 и К-26 однородна по фракционному составу. Аналогичный вывод был сделан относительно коры от барабанов фирмы «Вилен» и «Варкау». Усредненные данные по фракционному составу коры приведены в табл. 16.

#### 2.8. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛНОДРЕВЕСНОСТИ

Отношение объема древесины в плотных кубометрах к объему слоя, занимаемому штабелем, кучей или поленицей, называют коэффициентом полноты и вычисляют по формуле

$$П = V_{пл} / V_{скл},$$

где  $P$  — коэффициент полндревесности;  $V_{пл}$  — количество древесины, пл. м<sup>3</sup>;  $V_{скл}$  — объем слоя древесины, скл. м<sup>3</sup>.

Коэффициент полндревесности  $P$  зависит от размера и формы частиц, влажности древесины, способа укладки древесины в данную емкость, времени хранения топлива в ней. Этот коэффициент может варьировать в широких пределах.

Среднее значение коэффициента полндревесности различных видов натуральных древесных отходов приведено в табл. 17.

17. Коэффициенты полндревесности различных древесных отходов

| Вид отходов                       | Коэффициент полндревесности | Вид отходов          | Коэффициент полндревесности |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Горбыль крупный:<br>в поленищах   | 0,53                        | Опилки:              |                             |
| в клетках                         | 0,38                        | мелкие рыхлые        | 0,27                        |
| Горбыль тонкий:<br>в поленищах    | 0,46                        | мелкие утрамбованные | 0,37                        |
| в клетках                         | 0,33                        | крупные рыхлые       | 0,24                        |
| Рейка уложенная:<br>деловая       | 0,61                        | Стружка мелкая:      |                             |
| не деловая                        | 0,46                        | рыхлая               | 0,15                        |
| Короткие обрезки досок<br>(торцы) | 0,61                        | утрамбованная        | 0,30                        |
|                                   |                             | Сучья и вершины      | 0,30                        |
|                                   |                             | Хворост              | 0,25                        |

В соответствии с ГОСТ 15815—83 коэффициент полндревесности технологической щепы при свободной ее отсыпке до отправки потребителю равен 0,36. Коэффициент полндревесности щепы в кузове автомашины или в железнодорожном вагоне после перевозки ее автомобильным или железнодорожным транспортом на расстояние до 50 км равен 0,4, а при перевозке щепы на расстояние свыше 50 км равен 0,42. Эти значения коэффициента полндревесности могут быть с небольшой погрешностью приняты и для топливной щепы. Коэффициент полндревесности увеличивается при воздействии пневмопогрузки, достигая при этом величины 0,43.

Коэффициент полндревесности топливной щепы практически одинаков с этим коэффициентом для технологической щепы. При проведении технологических расчетов коэффициенты полндревесности измельченной древесины и древесных отходов рекомендуется выбирать в следующих пределах:

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Щепа из отходов лесозаготовок      | 0,30..0,36 |
| Щепа из отходов деревообработки    | 0,32..0,38 |
| Опилки рыхлые                      | 0,20..0,30 |
| Опилки слежавшиеся                 | 0,33..0,37 |
| Сучья и хворост, увязанные в пучки | 0,35..0,40 |
| Рейка                              | 0,35..0,60 |
| Горбыль                            | 0,45..0,60 |
| Дрова                              | 0,70..0,80 |

## 2.9. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ И МЕЛКИХ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Свойство частиц измельченной древесины самопроизвольно сыпаться под действием силы тяжести называется сыпучестью. Сыпучесть характеризует способность материала проходить через сужения, высыпаться из бункеров, нижняя часть которых имеет коническую форму, проходить через узкие сечения шахт топочных устройств и т. п. Наилучшей сыпучестью отличается щепа из отходов деревообработки. Несколько хуже сыпучесть у опилок, которые имеют свойство уплотняться в процессе хра-

18. Коэффициенты трения скольжения щепы

| Вид щепы                 | Поверхность трения          | Коэффициенты трения при влажности щепы, % |       |       |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|-------|-------|
|                          |                             | 5—10                                      | 20—30 | 60—65 |
| Из отходов лесозаготовок | Стальная не корродированная | 0,35                                      | 0,40  | 0,49  |
|                          | Стальная корродированная    | 0,48                                      | 0,52  | 0,56  |
|                          | Огнеупорный кирпич          | 0,66                                      | 0,76  | 0,86  |
|                          | Строганое дерево            | 0,25                                      | 0,30  | 0,46  |
| Из стволовой древесины   | Стальная не корродированная | 0,20                                      | 0,25  | 0,35  |

нения. Малой сыпучестью обладает щепа из отходов лесозаготовок.

Коэффициентом внутреннего трения называют отношение силы, необходимой для сдвига сыпучего материала в определенной плоскости, к величине силы, сдавливающей частицы материала перпендикулярно этой плоскости.

Коэффициент внутреннего трения сыпучего материала в первом приближении равен тангенсу угла естественного откоса этого материала. Угол естественного откоса измельченной древесины при расчетах устройств для хранения, складирования и сжигания принимают равным 45°.

Коэффициенты трения скольжения щепы о различные поверхности, необходимые для расчета бункерных устройств, приведены в табл. 18.

## 2.10. СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОЙ ПЫЛИ

Древесная пыль, образующаяся при шлифовании древесины, фанеры, древесностружечных и древесноволокнистых плит не подлежит хранению как в буферных складах котельных, так и в складах межсезонного хранения мелкого древесного топлива ввиду ее высокой парусности и взрывоопасности.

При сжигании древесной пыли в топочных устройствах должно быть обеспечено выполнение всех правил Госгортехнадзора по сжиганию пылевидного топлива, предупреждающих возникновение вспышек и взрывов внутри топочных устройств и в газовых трактах паровых и водогрейных котлов.

Древесно-шлифовальная пыль представляет собой смесь древесных частиц размером в среднем 250 мкм с абразивным порошком, отделившимся от шлифовальной шкурки в процессе шлифования древесного материала. Содержание абразивного материала в древесной пыли может достигать до 1 % по массе.

Фракционный состав древесной пыли, образующейся на шлифовальных станках, имеет диапазон изменения размеров частиц от 40 до 500 мкм. Состав пыли, образующейся на одних и тех же станках, не постоянен и зависит от ряда факторов: свойств обрабатываемого материала, его влажности, зернистости шлифовальной шкурки и т. п.

Летучестью или парусностью пыли называют способность ее частиц под действием потока газа перемещаться в любом направлении — витать в газовой среде. Парусность частиц пыли характеризуется скоростью витания, т. е. той минимальной скоростью газового потока, при которой эти частицы продолжают, не опускаясь, витать в газовой среде.

### 3. ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

Технологические свойства древесной биомассы оказывают существенное влияние на конструкцию топочных устройств, в которых осуществляется ее сжигание, и в значительной мере определяют при этом показатели работы паровых и водогрейных котлоагрегатов котельных лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий.

Получение экономии топлива в котельных, работающих на древесных отходах, зависит от того, насколько обслуживающий персонал обеспечивает своевременную квалифицированную работу и проведение мероприятий для эффективной и экономичной работы котлоагрегатов на основе знания специфических особенностей древесной биомассы, рассматриваемой как топливо.

#### 3.1. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ КАК ТОПЛИВА

Важной особенностью древесной биомассы как топлива является отсутствие в ней серы и фосфора. Как известно, основной потерей тепла в любом котлоагрегате является потеря тепловой энергии с уходящими газами. Величина этой потери оп-

ределяется температурой отходящих газов. Эта температура при сжигании топлив, содержащих серу, во избежание серно-кислотной коррозии хвостовых поверхностей нагрева поддерживается не ниже 200...250 °С. При сжигании же древесных отходов, не содержащих серу, эта температура может быть понижена до 110...120 °С, что позволит существенно повысить КПД котлоагрегатов. Таким образом, одним из реальных мероприятий по экономии топлива в котельных лесопромышленных предприятий является установка дополнительных хвостовых поверхностей нагрева к котлоагрегатам, работающим на древесных отходах.

Влажность древесного топлива может изменяться в очень широких пределах. В мебельном и деревообрабатывающем производствах влажность некоторых видов отходов составляет 10...12 %, в лесозаготовительных предприятиях влажность основной части отходов составляет 45...55 %, влажность коры при окорке отходов после сплава или сортировки в водных бассейнах достигает 80 %. В дальнейшем будет показано, что повышение влажности древесного топлива снижает производительность и КПД котлоагрегатов. В целях экономии энергии необходимо в котельных лесопромышленных предприятий предусмотреть проведение мероприятий по снижению влажности древесного топлива, поступающего в топочные устройства.

Выход летучих при сжигании древесного топлива очень высок — он достигает 85 %. Это является также одной из особенностей древесной биомассы как топлива и при полугазовых топках позволяет иметь большую протяженность факела, в котором осуществляется сгорание выходящих из слоя горючих компонентов, создающее условия для эффективной работы радиационных поверхностей нагрева котлоагрегата.

Продукт коксования древесной биомассы — древесный уголь отличается высокой реакционной способностью по сравнению с ископаемыми углями. Высокая реакционная способность древесного угля обеспечивает возможность работы топочных устройств при низких значениях коэффициента избытка воздуха, что положительно влияет на эффективность работы котельных установок при сжигании в них древесной биомассы.

Однако наряду с этими положительными свойствами древесина имеет особенности, отрицательно влияющие на работу котлоагрегатов. К таким особенностям, в частности, относится способность поглощения влаги, т. е. увеличение влажности в водной среде. При сплаве древесины, сортировке ее в водных бассейнах, хранении под открытым небом влажность древесины повышается. Предельное количество воды, которое может поглотить древесина, складывается из максимального количества связанной и свободной влаги. Наибольшее количество связанной влаги определяется пределом насыщения стенок клеток, а количество свободной влаги зависит от объема пустот между

клетками и внутри них. В первом приближении максимальное количество влаги может быть подсчитано по формуле

$$W_a^{\max} = 30 + \frac{1,54 - \gamma_0}{1,54} 100, \quad (3.1)$$

где  $W_a^{\max}$  — максимально возможная абсолютная влажность древесины;  $\gamma_0$  — плотность древесины в абсолютно сухом состоянии.

Формула (3.1) является приближенной, так как влажность при точке насыщения стенок клеток и плотность древесинного вещества взяты средние. Кроме того, при выводе формулы сделано предположение, что все пустоты древесины заполняются влагой. В действительности в некоторую часть пустот вода проникнуть не может, поэтому результаты, полученные по формуле, будут превышать опытные данные. Однако для целей теплотехнических расчетов это имеет даже положительное значение — полученные результаты являются как бы предельными с точки зрения определения наихудших условий.

Характерной особенностью древесины как топлива является незначительное содержание внутренней золы (не превышает 1 %). В то же время внешние минеральные включения у отходов лесозаготовок иногда достигают  $A^e = 20$  %. Зола, образующаяся при сгорании чистой древесины тугоплавка, и удаление ее из зоны горения топki не представляет особой технической сложности. Минеральные включения в древесной биомассе легкоплавки. При сгорании древесины со значительным их содержанием образуется спекшийся шлак, удаление которого из высокотемпературной зоны топчного устройства затруднено и требует для обеспечения эффективной работы топki особых технических решений. Спекшийся шлак, образующийся при сжигании высозолной древесной биомассы, имеет химическое сродство с кирпичом, и при высоких температурах в топчном устройстве спекается с поверхностью кирпичной кладки стенок топki, что затрудняет шлакоудаление.

### 3.2. ЖАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Жаропроизводительностью обычно называется максимальная температура горения, развиваемая при полном сгорании топлива без избытка воздуха, т. е. в условиях, когда все выделяющееся при сгорании тепло полностью расходуется на нагрев образующихся продуктов сгорания.

Термин жаропроизводительность предложен в свое время Д. И. Менделеевым как характеристика топлива, отражающая его качество с точки зрения возможности использования для осуществления высокотемпературных процессов. Чем выше жаро-

производительность топлива, тем выше качество тепловой энергии, выделяющейся при его сжигании, тем выше эффективность работы паровых и водогрейных котлов. Жаропроизводительность представляет собой предел, к которому приближается реальная температура в топке по мере совершенствования процесса сгорания.

Жаропроизводительность древесного топлива зависит от его влажности и зольности. Жаропроизводительность абсолютно

### 19. Жаропроизводительность топливных древесных отходов

| Зольность $A^p$ , % | Жаропроизводительность, °С, при рабочей влажности, % |      |      |      |      |      |      |     |
|---------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                     | 0                                                    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70  |
| 1                   | 2022                                                 | 1943 | 1851 | 1741 | 1603 | 1443 | 1229 | 939 |
| 2                   | 2022                                                 | 1942 | 1849 | 1737 | 1602 | 1433 | 1214 | 914 |
| 3                   | 2022                                                 | 1941 | 1846 | 1734 | 1596 | 1423 | 1198 | 888 |
| 4                   | 2022                                                 | 1940 | 1844 | 1730 | 1590 | 1413 | 1182 | 860 |
| 5                   | 2022                                                 | 1939 | 1842 | 1726 | 1583 | 1402 | 1164 | 831 |
| 6                   | 2022                                                 | 1938 | 1840 | 1722 | 1576 | 1391 | 1147 | 800 |
| 7                   | 2022                                                 | 1937 | 1838 | 1717 | 1569 | 1380 | 1128 | 768 |
| 8                   | 2022                                                 | 1936 | 1836 | 1713 | 1562 | 1368 | 1108 | 734 |
| 9                   | 2022                                                 | 1935 | 1833 | 1709 | 1554 | 1356 | 1088 | 697 |
| 10                  | 2022                                                 | 1934 | 1830 | 1704 | 1547 | 1343 | 1067 | 659 |

сухой древесины всего на 5 % ниже жаропроизводительности жидкого топлива. При влажности древесины  $W^p = 70$  % жаропроизводительность древесины понижается более чем в 2 раза.

Влияние зольности древесины на ее жаропроизводительность значительно слабее влияния на этот фактор влажности. Это ясно из табл. 19, отражающей зависимость жаропроизводительности топливных древесных отходов от зольности и влажности.

### 3.3. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

Факторы, определяющие эффективность процесса сжигания древесной биомассы, следующие:

- влажность древесной биомассы;
- ее зольность;
- соответствие фракционного состава измельченной древесины применяемому для ее сжигания виду топчного процесса;
- соответствие конструкции котлоагрегата используемому виду древесной биомассы;
- приспособленность топчного устройства для сжигания биомассы высокой зольности.



Влияние влажности древесной биомассы на эффективность работы котельных установок чрезвычайно существенно. При сжигании абсолютно сухой древесной биомассы с малой зольностью эффективность работы котлоагрегатов как по их производительности, так и по КПД приближается к эффективности работы котлоагрегатов на жидком топливе и превосходит в некоторых случаях эффективность работы котлоагрегатов, использующих некоторые виды каменных углей.

Повышение влажности древесной биомассы неизбежно вызывает снижение эффективности работы котельных установок. Это следует знать всем энергетикам лесопромышленных предприятий и постоянно разрабатывать и проводить мероприятия по недопущению попадания в древесное топливо атмосферных осадков, почвенных вод и т. п. В перспективе надо вернуться к внедрению на производстве атмосферной сушки древесного топлива.

Зольность древесной биомассы затрудняет ее сжигание. Наличие в древесной биомассе минеральных включений обусловлено применением недостаточно совершенных технологических процессов заготовки древесины и ее первичной обработки. Необходимо отдавать предпочтение таким технологическим процессам, при которых загрязнение древесных отходов минеральными включениями может быть сведено к минимуму.

Фракционный состав измельченной древесины должен быть оптимальным для данного вида топочного устройства. Отклонения в размере частиц от оптимального как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения снижают эффективность работы топочных устройств. Рубительные машины, применяемые для измельчения древесины в топливную щепу, не должны давать больших отклонений в размере частиц в сторону их увеличения. Вместе с тем наличие большого количества слишком малых частиц также нежелательно.

Для обеспечения эффективного сжигания древесных отходов необходимо, чтобы конструкция котлоагрегатов отвечала особенностям этого вида топлива. Здесь имеется в виду то, что у котлоагрегатов для сжигания влажной древесной биомассы должны быть увеличенные конвективные поверхности нагрева и дополнительные площади хвостовых поверхностей нагрева, обеспечивающие снижение температуры отходящих газов до 110...120°C.

Проведенные в ЦНИИМЭ работы показали, что отделение от древесной биомассы минеральных включений представляет сложную задачу, решение которой даже в первом приближении экономически неоправданно. Поэтому для сжигания древесной биомассы с высокой зольностью следует внедрить в эксплуатацию топки с механизированным золошлакоудалением, организовав их серийное изготовление.

#### 3.4. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТОПОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СЖИГАНИИ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

Топочным процессом называют реальный способ сжигания топлива в топке, при котором осуществляются непрерывное и регулируемое горение топлива в определенном объеме и своевременное удаление из этого объема золы и шлака. В современной топочной технике применяются слоевой, вихревой, циклонный и факельный процессы сжигания древесного топлива.

**Слоеовой процесс сжигания твердого топлива.** Сущность слоевого процесса сжигания твердого топлива заключается в том, что воздух непрерывно продувается через слой горящего кускового топлива, взаимодействует с ним, в результате чего получают нагретые до высокой температуры топочные газы, зола и шлак. Топочные газы омывают поверхности нагрева топочного пространства и передают им часть своего тепла. Поверхности нагрева топки воспринимают тепло, излучаемое раскаленными частицами топлива и пламенем, возникающим при сгорании горючих газов, выходящих из слоя топлива. Зола и шлак удаляются из зоны горения либо вручную, либо посредством механического колосникового устройства того или иного типа.

Пространство в слоевом топочном устройстве, где происходит взаимодействие топлива с воздухом и продуктами сгорания, называют активной зоной или зоной горения. Активная зона в топке состоит из кислородной зоны, зоны восстановления, зоны возгонки летучих и сушки топлива.

Кислородная зона — это нижний слой топлива, в который подводится воздух. В газах, проходящих через этот слой, содержится кислород. В этой зоне происходит взаимодействие кислорода воздуха с углеродом топлива, в результате чего образуется одновременно окись углерода CO и углекислый газ CO<sub>2</sub>. Верхней границей кислородной зоны является сечение слоя, в котором температура достигает максимального значения, а содержание кислорода становится незначительным. Протяженность кислородной зоны по высоте слоя не зависит от скорости воздушного дутья и определяется размером кусков топлива и его природой. Чем выше реакционная способность топлива, тем меньше протяженность кислородной зоны, и чем больше средний размер куска, тем больше ее протяженность. Если по технологии сжигания топлива высота слоя больше протяженности кислородной зоны, то над ней располагается зона восстановления.

Зона восстановления — это пространство, в котором происходит взаимодействие углекислого газа CO<sub>2</sub> с поверхностью раскаленного топлива, в результате чего в продуктах сгорания увеличивается содержание окиси углерода CO. Взаимодействие углекислого газа с углеродом топлива происходит

с поглощением тепла, вследствие чего температура слоя по высоте восстановительной зоны уменьшается.

Над зоной восстановления расположена зона возгонки летучих и сушки топлива. При большой высоте слоя содержание горючих компонентов в топочных газах увеличивается и возникает необходимость подвода воздуха сверху слоя для их дожигания. Воздух, подводимый за слоем топлива для дожигания горючих компонентов топочных газов, называют вторичным воздухом.

При слишком малой высоте топлива через него проходит значительное количество непрореагировавшего кислорода, что повышает коэффициент избытка воздуха, снижает температуру топочных газов и теплоотдачу от них поверхностям нагрева.

Таким образом, режим работы топки при слоевом сжигании может быть двояким. Можно держать оптимальный по высоте слой топлива, равный протяженности кислородной зоны, при этом весь требующийся для горения кислород продувается через слой топлива. Такой режим рекомендуется для сухого топлива с большой теплотой сгорания при использовании простой колосниковой решетки.

Можно поддерживать более высокий слой топлива, с тем, чтобы над кислородной зоной имелись зоны восстановления, возгонки летучих и подсушки топлива при подводе вторичного воздуха. Этот режим рекомендуется для влажного топлива с низкой теплотой сгорания. Топочные устройства, работающие по такому принципу с подводом вторичного воздуха, называют полугазовыми. При слоевом топочном процессе производительность топочного устройства регулируется изменением только одного параметра — количества воздуха, подаваемого в топку.

Преимуществами слоевого процесса сжигания твердого топлива являются:

- возможность сжигания древесной биомассы с самым широким диапазоном по размерам частиц;

- возможность наилучшей автоматизации работы топочного устройства;

- простота устройств для механизации подачи топлива в зону горения;

- минимальные затраты на подготовку топлива.

При слоевом сжигании частицы топлива находятся в слое, который очень медленно движется по мере выгорания, и они сцеплены друг с другом. Скорость обдувания частиц воздухом и продуктами сгорания равна скорости движения этих газов по каналам, образованным зазорами между частицами. Максимальная допустимая скорость газовых компонентов при движении их через слой топлива практически лимитирована недопустимостью выноса из слоя мелких частиц с последующим образованием прогаров в слое топлива. Протяженность кислородной зоны зависит в основном от среднего диаметра частиц и, под-

бирая надлежащим образом толщину слоя, можно обеспечить возможность использования слоевого процесса для различного фракционного состава топлива. Например, в шахтных топках возможно эффективно сжигать как опилки, так и дрова. Не пригоден слоевой процесс для сжигания только одного вида древесных отходов — шлифовальной пыли, размеры частиц которой, как правило, меньше 0,5 мм. При попытках сжигания слоевым способом древесной пыли происходили вспышки и взрывы ее в топочном объеме и газовом тракте котлоагрегатов.

Как уже отмечалось, слоевой процесс сжигания древесного топлива обеспечивает хорошие условия для автоматизации топочных устройств. Действительно, при автоматизации слоевых топок достаточно обеспечить автоматическое регулирование количества подаваемого в топку воздуха, в то время как при других типах топочного процесса необходимо автоматическое регулирование не только количества подаваемого воздуха, но и количества поступающего топлива, что усложняет систему автоматизации.

При слоевом процессе сжигания древесного топлива устройство механизации подачи топлива в топку практически состоит из течки или топливного рукава, заполняемых периодически топливом, т. е. является предельно простым. Трудовые затраты на подготовку топлива при слоевом процессе являются минимальными — мелкие древесные отходы можно сжигать в их естественном виде. Подготовка кусковых отходов для сжигания сводится только к их измельчению в такой степени, чтобы они свободно, без застревания проходили через течки, топливные рукава и нормально сходили в шахтах топочных устройств.

Однако слоевой процесс сжигания топлива имеет и отрицательные стороны. Во-первых, при слоевом процессе необходима громоздкая колосниковая решетка, не вписывающаяся при большой мощности в габарит котлоагрегата. Во-вторых, при слоевом процессе имеют место в некоторых случаях прогары слоя и кратерное горение, что лимитирует напряженность работы колосниковых решеток не столь высокими пределами, как это было желательно при конструировании топок повышенной мощности.

Вихревой процесс сжигания твердого топлива заключается в том, что внутри объема топки создается устойчивое вихревое вращательное движение газовой смеси и частиц топлива, которые движутся по круговым или петлевым траекториям, находясь во взвешенном состоянии и сгорая при движении в газовом объеме. Большая скорость движения частиц и их развитая поверхность создают условия для ускоренного протекания процессов нагревания, подсушки, возгонки летучих и сгорания частиц, витающих в топочном объеме. Для сжигания отдельных крупных частиц вихревые топки снабжаются дожигательными колосниковыми решетками.

Вихревое движение газовой смеси достигается соответствующим подводом воздушного дутья и отводом продуктов горения. Оно организуется так, что наиболее крупные частицы топлива попадают периодически в область, где газозвдушная смесь или воздух движутся с большой скоростью, подхватываются ими и вновь выносятся в топочный объем. Этот цикл повторяется до тех пор, пока частицы топлива, постепенно обгорая, не достигнут размеров, обеспечивающих их полное сгорание за один виток движения газозвдушной смеси.

При вихревом процессе сжигания топлива не требуется очень тонкого измельчения кускового топлива. Вихревой процесс дает возможность сжигать каменный уголь с размерами частиц 0,5...3 мм, фрезерный торф и т. п. Многие виды древесных отходов, например опилки, стружки и т. п., могут сжигаться при этом процессе без дополнительного измельчения.

Однако при всех процессах сжигания мелкого топлива во взвешенном состоянии следует иметь в виду, что интенсивность массо- и теплообмена между газовой средой и поверхностью взвешенных частиц определяется не абсолютной скоростью их движения, а скоростью движения частиц относительно газовой среды, которая при равномерном движении не может превышать скорости витания частиц среды в газовом объеме и ограничена, таким образом, не столь высокими для мелких частиц пределами.

В отличие от слоевого процесса сжигания применение вихревого процесса связано с необходимостью при изменении теплопроизводительности топki регулировать как количество подвoдимого воздуха, так и количество топлива, подаваемого в топку. Это обстоятельство усложняет автоматизацию работы топочных устройств вихревого типа.

**Циклонный процесс сжигания пылевидного топлива.** Циклонный процесс сжигания твердого пылевидного топлива по своему принципу аналогичен вихревому процессу и отличается тем, что объему топочного пространства придается цилиндрическая форма, а подвод воздуха осуществляется по касательной к цилиндрической поверхности внутреннего объема топki.

**Факельный процесс сжигания пылевидного топлива.** Факельный процесс сжигания пылевидного топлива состоит в том, что пылевоздушная смесь подается через горелку в топочное пространство и сгорает во взвешенном состоянии, образуя факел яркого светящегося пламени.

Для обеспечения устойчивости горящего факела частицы топлива должны предварительно измельчаться до таких размеров, чтобы полностью сгореть в короткое время пребывания их в объеме факела. В связи с этим сжигать в факеле можно только топливо с высокой степенью измельчения. Практически без дополнительного измельчения в факеле можно сжигать только один вид древесных отходов — шлифовальную пыль.

Особенностью факельного процесса является весьма незначительный запас топлива в топочной камере, отчего процесс горения малоустойчив и весьма чувствителен к изменению режима. Регулировать мощность топki можно лишь одновременным изменением количества подаваемых в топку топлива и воздуха. При факельном процессе наблюдается золотый износ поверхностей нагрева, высаживание на кирпичных стенках топki твердого сплавленного шлака. Факельный процесс требует точного соблюдения мер взрывобезопасности.

Рассмотрим конкретные технические решения по использованию топочных процессов различного типа при сжигании древесной биомассы.

## 4. СЛОЕВОЙ СПОСОБ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

### 4.1. ПРИНЦИПЫ СЛОЕВОГО СЖИГАНИЯ. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Для сжигания древесного топлива в условиях лесной промышленности наибольшее распространение получили топki, основанные на слоевом способе сжигания. Конструкции этих топочных устройств наиболее просты, надежны в эксплуатации и могут быть приспособлены к часто изменяющимся фракционному составу и влажности древесного топлива. Топki, работающие по слоевому способу, наиболее подходящи для автоматизированных котельных.

Слойовой способ сжигания древесной биомассы может быть реализован путем использования следующих принципов организации работы слоя:

- сжигания топлива в горизонтальном слое;
- сжигания топлива в наклонном слое;
- сжигания топлива в вертикальном слое;
- кучевого сжигания топлива;
- сжигания топлива в зажатом слое.

**4.1.1. Сжигание древесной биомассы в горизонтальном слое.** Наиболее старым принципом организации сжигания кусковых древесных отходов и дров является сжигание их в горизонтальном слое на колосниковой решетке. По этому принципу работают ручные топki для дров и кусковых отходов. Загрузка древесного топлива на горизонтальную решетку при ручном обслуживании является очень трудоемкой операцией и связана с тяжелым физическим трудом.

Механизация загрузки мелкого древесного топлива на горизонтальную решетку требует разработки весьма сложного по конструкции забрасывателя топлива. Высота слоя древесного топлива на горизонтальной решетке при работе топki все время

изменяется, то существенно затрудняет ее обслуживание. Сжигание древесного топлива на горизонтальных решетках применяется в настоящее время только в топках котлов малой мощности и при печном отоплении жилого фонда.

**4.1.2. Сжигание топлива в вертикальном слое.** Этот принцип сжигания является более совершенным. Впервые он был внедрен в практику проф. К. В. Киршем, который разработал топочное устройство с вертикальным зеркалом горения для сжигания дров. Размеры слоя топлива при сжигании древесины по этому принципу стабильны по времени, во время загрузки топлива холодный воздух не проходит в топочное пространство, как это имеет место в топках с горизонтальным слоем, трудоемкость загрузки топлива здесь ниже. Основным недостатком этого принципа сжигания является неодинаковая толщина слоя топлива, который должны преодолеть воздух и продукты горения при движении от колосниковой решетки до зеркала горения.

Топки с вертикальным слоем целесообразно применять для сжигания мелких древесных отходов, обладающих малой сыпучестью и склонностью к сводообразованию. Сжигание опилок в топках с вертикальным слоем затруднено.

**4.1.3. Сжигание топлива в наклонном слое.** Наиболее совершенным и распространенным принципом сжигания является сжигание топлива в наклонном слое, при котором возможно конструктивными средствами обеспечить постоянную толщину слоя топлива и одинаковые условия для прохода воздуха и продуктов горения через слой по всей площади колосниковой решетки.

В топках с наклонным слоем возможно применение эффективных средств регулирования толщины слоя в соответствии с конкретным видом сжигаемого древесного топлива. Топочные устройства с наклонным слоем обеспечивают возможность сжигания древесного топлива весьма широкого фракционного состава, начиная с опилок и кончая крупнокусковыми отходами и дровами.

**4.1.4. Кучевое сжигание мелкого древесного топлива.** Кучевым сжиганием называют сжигание мелкого древесного топлива на колосниковой решетке конической формы, на которой располагается топливо в виде кучи, образующей поверхности естественного откоса. По существу, этот принцип является разновидностью сжигания топлива в наклонном слое. За рубежом такое сжигание получило широкое применение, хотя оно связано с довольно сложными механизмами для подачи топлива. Привлекательной стороной данного способа является возможность организации вихревого движения продуктов сгорания и вторичного воздуха над слоем топлива с целью дожигания парусных частиц древесного угля и уменьшения уноса их с дымовыми газами.

**4.1.5. Сжигание топлива в зажатом слое.** Принцип сжигания мелкого древесного топлива в зажатом слое был предложен В. В. Померанцевым. Сущность его заключается в том, что вертикальный или немного наклоненный слой мелкого древесного топлива зажимается трубной или кирпичной решеткой, препятствующей выносу из слоя частиц топлива, в результате чего создаются условия, обеспечивающие высокую напряженность горения. По этому принципу работают топки скоростного горения конструкции НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова для котлов ДКВр и КЕ. Они применяются для сжигания древесной щепы и опилок при зольности их на сухую массу не более 1...2 %.

## **4.2. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ**

Оптимизация процессов горения древесной биомассы заключается в поиске таких технических решений при совершенствовании реальных процессов сжигания древесной биомассы, которые наилучшим образом отвечают противоречивым требованиям эффективности процесса производства тепловой энергии.

Технология сжигания древесной биомассы и конструкция топочных устройств должны предусматривать реальную возможность поддержания такого значения коэффициента избытка воздуха, при котором сумма потери тепла с отходящими газами и потери тепла вследствие химической неполноты сгорания была бы минимальной.

Свободное сечение колосниковой решетки должно быть снижено, а давление наддува воздуха повышено до такой степени, чтобы при сжигании данного конкретного вида топлива и работе котлоагрегата на номинальной теплопроизводительности образование прогаров слоя или кратерное горение были исключены.

Толщина слоя топлива должна быть такой, чтобы при минимальной затрате энергии на продувание через слой первичного воздуха при работе котла на номинальной производительности прогары слоя топлива были исключены. Угол наклона колосниковой решетки следует выбрать таким, чтобы толщина слоя топлива была приблизительно одинаковой по всей площади решетки.

Следует иметь в виду, что одинаковая по всей площади колосниковой решетки высота слоя будет иметь место только в случае, если угол наклона решетки принят равным углу естественного откоса. Если угол наклона решетки больше угла естественного откоса, то высота слоя будет увеличиваться в нижней части решетки и, наоборот, если угол наклона решетки меньше угла естественного откоса, то толщина слоя в нижней части решетки будет меньше, чем в верхней части.

При сжигании древесной биомассы повышенной зольности должны быть предусмотрены технические решения конструктивных элементов топочного устройства, гарантирующие непрерывный сход шлака из зоны горения и возможность его удаления из топки вручную или посредством специальных механизмов.

Таковы в общем виде основные направления оптимизации процесса горения древесной биомассы.

#### 4.3. ТОПОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА СЛОЕВОГО ТИПА В СССР И ЗА РУБЕЖОМ

**4.3.1. Топка с горизонтальной колосниковой решеткой.** Хотя дрова в настоящее время большей частью вовлекаются в технологическую переработку, часть их все же используется в качестве топлива.

Простейшей топкой для сжигания дров является ручная топка с горизонтальной колосниковой решеткой (рис. 3). Топка предназначена для чугунных секционных котлов и представляет собой четырехугольную кирпичную камеру, футерованную изнутри огнеупорным кирпичом. В нижней части камеры установлена горизонтальная колосниковая решетка из чугунных колосников, разделяющих камеру на зольниковое и топочное пространство. Высота слоя в этой топке приблизительно 0,8...1 м. Дрова загружаются через дверцы и колосниковая решетка воспринимает удары от брошенных с высоты на нее поленьев, поэтому нужно главное внимание уделять прочности колосников. Обычно устанавливаются брусчатые колосники длиной до 700 мм с зазорами 20...25 мм. Воздух для горения дров подводится через воздухопровод под колосниковую решетку.

Недостатками данной топки являются: невозможность механизировать как подачу дров в топку, так и выгрузку золы и шлака из нее; изменяющаяся по времени высота слоя из-за периодичности загрузки дров в топку, что приводит при снижении высоты слоя и к увеличению коэффициента избытка воздуха, а при увеличении высоты слоя — к повышению химической неполноты сгорания.

Регулирование производительности топки осуществляется изменением количества воздуха, идущего на сгорание.

**4.3.2. Топка с вертикальным слоем топлива.** Топка с вертикальным слоем топлива для сжигания высоковлажных дров была предложена проф. К. В. Киршем. Схема такой топки показана рис. 4. Топка состоит из вертикальной обмурованной огнеупорным кирпичом шахты 3. В нижней части ее установлена горизонтальная колосниковая решетка 6. В задней части устроено окно 10. Боковые заплеки, образованные вследствие того, что ширина окна меньше ширины топки,

обеспечивают вертикальное перемещение поленьев внутри шахты по мере их сгорания в области колосниковой решетки. Первичный воздух для сгорания подводится через дверцу зольникового люка 5. Особенностью топки является то, что колосниковая решетка расположена ниже нижнего края окна 10, в результате чего образуется горячая зона высотой  $h$ , в которой происходит процесс газификации угля при сухом топливе и древесины при влажном топливе. Горячие продукты газификации проходят через вышележащий слой топлива, обеспечивая интен-

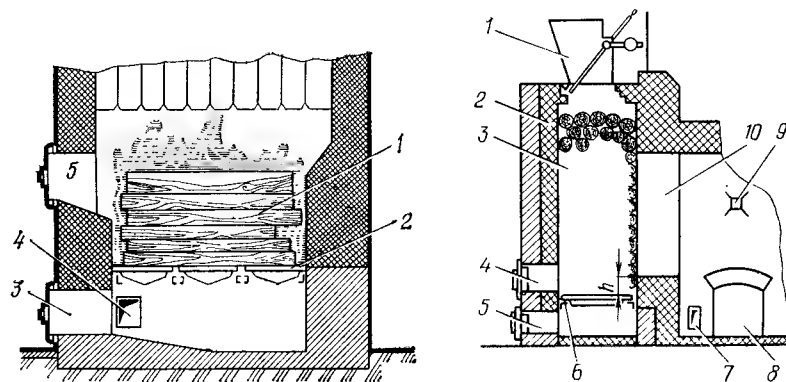


Рис. 3. Ручная топка для дров с горизонтальной колосниковой решеткой: 1 — слой топлива; 2 — колосниковая решетка; 3 — зольниковый люк; 4 — воздухопровод; 5 — загрузочная дверца

Рис. 4. Схема топки для дров с вертикальным слоем топлива: 1 — загрузочное устройство; 2 — обмуровка; 3 — шахта; 4 — шлаковый люк; 5 — зольниковый люк; 6 — колосниковая решетка; 7 — окно подвода вторичного воздуха; 8 — зольниковый люк; 9 — гляделка; 10 — окно задней стенки топки

сивную подсушку поленьев, а затем поступают в топочную камеру, где сгорают в виде факела. Вторичный воздух для их сжигания подводится через окно 7.

Особое значение для эффективности процесса имеет высота  $h$ . Чем выше влажность дров, тем больше должна быть заглублена колосниковая решетка, т. е. тем больше должна быть высота  $h$ .

Для обеспечения удобства загрузки дров в верхней части шахты устроено загрузочное устройство 1. Удаление шлака с колосниковой решетки производится через люк 4, а золы из зольникового пространства — через люк 5. Для наблюдения за процессом горения предусмотрены гляделки 9. Удаление золы из топочной камеры осуществляется через люк 8.

**4.3.3. Топки с наклонным слоем топлива.** Широко используются для сжигания дров шахтные топки с наклонным слоем топлива. Шахтная топка с наклонным зеркалом горения

(рис. 5) представляет собой футерованную камеру (шахту), в нижней части которой расположены наклонная и горизонтальная колосниковые решетки. Воздух для горения дров подводится через дверцы люков позонно, что позволяет регулировать процесс сгорания в зависимости от влажности дров.

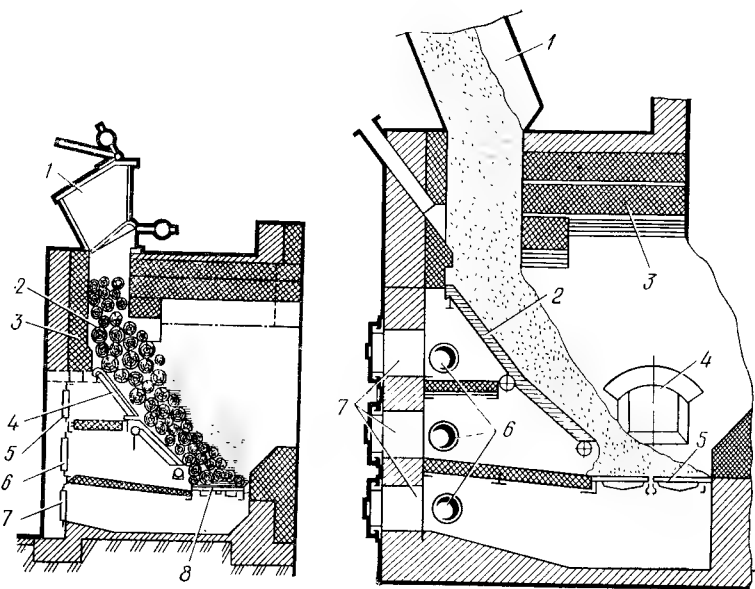


Рис. 5. Схема топki для дров с наклонным слоем топлива:

1 — загрузочное устройство; 2 — слой топлива; 3 — обмуровка; 4 — наклонная колосниковая решетка; 5, 6, 7 — дверцы; 8 — горизонтальная колосниковая решетка

Рис. 6. Топка для сжигания мелкого древесного топлива с наклонным слоем:

1 — загрузочная воронка; 2 — наклонная ступенчатая колосниковая решетка; 3 — свод; 4 — смотровое окно; 5 — горизонтальная колосниковая решетка; 6 — воздухопроводы для подвода воздуха; 7 — люк

Достоинством данной топki является неизменная толщина слоя топлива из-за наличия постоянно заполненной топливом вертикальной шахты, что обеспечивает равномерное и полное сжигание топлива при малых значениях химической неполноты сгорания.

Производительность топki регулируется изменением количества воздуха, проходящего через колосниковые решетки, путем изменения открытия дверец люков и шиберов дымоходов котла. При сжигании влажных дров количество воздуха, проходящего через наклонную решетку, уменьшается.

Топки с наклонным слоем топлива, которые в практике лесной промышленности называют шахтными топками, широко ис-

пользуются для сжигания мелкого древесного топлива. Топочные устройства этого типа можно подразделить на следующие три вида:

- топки со ступенчатой колосниковой решеткой;
- топки с брусчатыми беспровальными колосниками;
- топки с накладными беспровальными колосниками.

Необходимым условием работоспособности топok с наклонным слоем при сжигании мелкого древесного топлива является недопустимость провала частиц топлива под колосниковую решетку. Если частицы мелкого топлива проваливаются в большом количестве под решетку, то под ней образуется очаг горения, в котором развиваются высокие температуры, воздействующие на подколосниковые балки и нижние поверхности колосников, что приводит к выходу из строя через короткое время указанных деталей. Колосники, не допускающие провала мелкого топлива через колосниковую решетку, называют беспровальными.

Наиболее старой конструкцией беспровальных колосников являются колосники ступенчатой колосниковой решетки. Топки со ступенчатой колосниковой решеткой можно рекомендовать только для сжигания мелких древесных отходов с малой зольностью, не содержащих минеральных включений. Колосниковая решетка этих топok состоит из боковых чугунных наклонных кронштейнов с прорезями, в которых удерживаются горизонтальные чугунные планки, образующие ступенчатую конструкцию, по ней сходит мелкое древесное топливо. Горизонтальные пластины перекрывают друг друга таким образом, чтобы провал частиц топлива под колосниковую решетку был исключен. Топливо под действием силы тяжести сползает на нижние горизонтальные колосники, где, сгорая, образует мощный очаг, от которого передается основное количество тепла, необходимого для подсушки топлива.

Недостатком ступенчатой колосниковой решетки является трудность удаления шлака, скапливающегося на ступеньках, что ограничивает ее применение для сжигания загрязненных древесных отходов.

Схема топki со ступенчатой колосниковой решеткой для сжигания мелкого древесного топлива показана на рис. 6. Средний по высоте люк передней стенки топki служит для удаления шлака с горизонтальной колосниковой решетки, а нижний для удаления золы из зольникового пространства. Для удаления шлака с горизонтальной колосниковой решетки необходимо, чтобы зазор между нижней пластиной колосниковой решетки и горизонтальной колосниковой решеткой был в пределах 150... 200 мм.

Через верхние и средние по высоте люки передней стенки посредством кочегарного инструмента удаляется зола, образующаяся на ступеньках колосниковой решетки. Каждый из возду-

хопроводов 6 снабжен отдельной заслонкой, позволяющей регулировать подачу первичного воздуха.

В топке с наклонным слоем и ступенчатой колосниковой решеткой эффективно сжигаются мелкие древесные отходы (опилки, стружка, щепа). Сжигать крупнокусковые отходы и дрова в такой топке не рекомендуется, так как ступеньки решетки от ударов крупных кусков древесины выходят из строя.

Топки с наклонным слоем и брусчатыми беспровальными колосниками широко применяются в практике лесной промышленности для сжигания мелкого древесного топлива совместно с кусковыми древесными отходами и мелко расколотыми дровами. Брусчатые беспровальные колосники представляют собой узкие чугунные балки, соприкасающиеся друг с другом боковыми поверхностями, которые имеют прорезы для прохода воздуха. Эти прорезы выполнены таким образом, что провал топлива через них исключен. Брусчатые колосники имеют хорошее охлаждение, вследствие развитой поверхности, высокую прочность, позволяющую сжигать на них кусковые древесные отходы и мелко разрубленные дрова.

В бумажной промышленности находят применение топки с накладными беспровальными колосниками. Эти колосники укладывают на поперечные трубы (в которых циркулирует охлаждающая их вода) таким образом, чтобы между нижним концом одного колосника и верхним концом другого образовался зазор, направленный по касательной ко всей колосниковой решетке. В этот зазор подается с большой скоростью первичный воздух для сгорания. Высокие скорости движения воздуха и продуктов сгорания способствуют выносу золы и мелких кусочков шлака к нижнему концу колосниковой решетки для их дальнейшего удаления из топочного объема.

**4.3.4. Топки для кучевого сжигания мелкого древесного топлива.** Широкое распространение в зарубежных странах имеют топки кучевого сжигания мелкого древесного топлива. Принципиальная схема кучевой топки показана на рис. 7. Мелкое древесное топливо посредством шнека 1 подается в центр топочного пространства и рассыпается по колосниковой решетке 3, под которую нагнетается первичный воздух. На колосниковой решетке топливо сгорает, а продукты сгорания поднимаются в верхнюю часть топочного пространства — циклонную камеру 5. В эту камеру тангенциально подводится вторичный воздух, обеспечивающий вихревое вращательное движение продуктов сгорания, что способствует догоранию горючих газовых компонентов и мелких частиц древесного угля, вынесенных в топочную камеру потоком продуктов сгорания. Таким образом, кучевые топки ввиду наличия у них циклонного устройства исключают при сжигании измельченной древесины унос в атмосферу мелких несгоревших частиц древесного угля. Эта особенность топки позволяет снизить расходы на строитель-

ство котельных, так как ликвидирует необходимость строительства системы очистки дымовых газов при выполнении требований по охране окружающей среды.

**4.3.5. Топки с зажатым слоем топлива.** Для обеспечения возможности форсирования процесса горения слоя в широких пределах, а также увеличения теплового напряжения зеркала горения В. В. Померанцевым была предложена топка скоростного горения, работающая по принципу сжигания в зажатом слое.

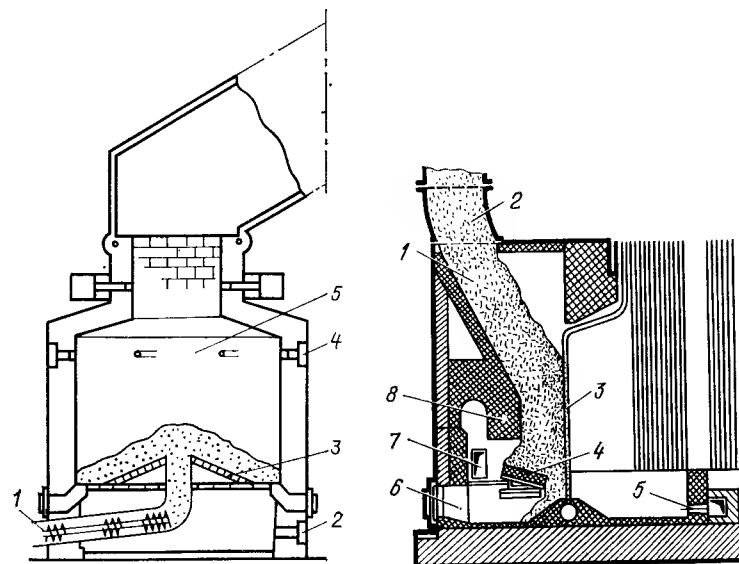


Рис. 7. Схема кучевой топки:

1 — шнек для подачи топлива; 2 — подвод первичного воздуха; 3 — колосниковая решетка; 4 — тангенциальный подвод вторичного воздуха; 5 — циклонная камера

Рис. 8. Схема топки скоростного горения ЦКТИ системы В. В. Померанцева:

1 — шахта; 2 — топливный рукав с плавными очертаниями; 3 — зажимающая решетка; 4 — подвижный пережим; 5 — сопло подвода вторичного воздуха; 6 — зольниковый люк; 7 — окно подвода первичного воздуха; 8 — неподвижный пережим

Топка скоростного горения В. В. Померанцева (рис. 8) представляет собой вертикальную камеру (шахту), ограниченную с трех сторон кирпичной кладкой, а со стороны топочной камеры — зажимающей решеткой 3 из стальных ошпированных труб, которые одновременно являются фронтным экраном топочной камеры и включены в систему циркуляции котла. Зажимающая решетка удерживает слой в вертикальной плоскости, а шипы препятствуют выносу из слоя мелочи даже при значительном увеличении интенсивности дутья. Топливо в топку поступает по топливному рукаву 2, имеющему плавные очертания для предотвращения зависания. Особенности этой топки являются наличие зажимающей решетки, неподвижного пере-



жима 8, по наклонной поверхности которого движется слой мелкого топлива, и подвижного пережима 4, позволяющего регулировать толщину вертикального слоя топлива в нижней части топки. Под пережимы подается воздух, обеспечивающий сгорание топлива, а на неподвижном пережиме происходит подсушка топлива. Принцип скоростного сжигания заключается в том, что слой топлива удерживается охлаждаемой зажимающей решеткой, препятствующей уносу мелких частиц его, и это дает возможность иметь большую скорость прохода воздуха и топочных газов через слой топлива.

НПО ЦКТИ совместно с Бийским котельным заводом разработало топочное устройство системы В. В. Померанцева для котлоагрегатов типа ДКВр различной мощности. Из данных испытаний и на основании информации о работе этих топок в котельных лесозаготовительных предприятий видно, что данная топка пригодна для сжигания малозольных топлив (зольностью не более 1,5...2 %) при относительной влажности топлива 50 %. Конструкция топки предъявляет также жесткие требования к фракционному составу топлива, количество опилок в смеси не должно превышать 50 % во избежание кратерного горения вследствие выдувания опилок из слоя.

В условиях действующего предприятия выполнить эти требования весьма трудно. При наблюдении за эксплуатацией котельных лесозаготовительных предприятий установлено, что не менее 2 мес в году в топку поступают отходы лесозаготовок с большим содержанием минеральных включений. Зольность топливной щепы в эти месяцы достигает 20 % на сухую массу.

При сжигании щепы с таким высоким содержанием минеральных включений в топках, помимо высокодисперсной древесной золы, образуется шлак, который сплавляется с поверхностью кирпича стенок, и образуются большие наплывы с последующим нарушением нормального схода топлива и процесса его горения. При удалении шлака в скоростных топках системы В. В. Померанцева возникает опасность повреждения труб решетки, что крайне затрудняет сжигание высокзолых древесных отходов.

С целью вовлечения в топливный баланс лесозаготовительных предприятий высокзолых древесных отходов ЦНИИМЭ совместно с производственным объединением «Лесэнерго» разработали топочное устройство с механизированным золо- и шлакоудалением ВО-110 (рис. 9). Оно установлено в котельной Крестецкого леспромхоза на котлоагрегате ДКВр-10-13.

Топочное устройство создано на базе топки скоростного горения при сохранении основного принципа — сжигания мелкого древесного топлива в тонком слое, зажатым между пережимом и зажимающей трубной решеткой. Топка имеет зажимающую решетку, шахта топки экранирована с боков водяными рубашками, в нижней части топки размещено устройство для механиз-

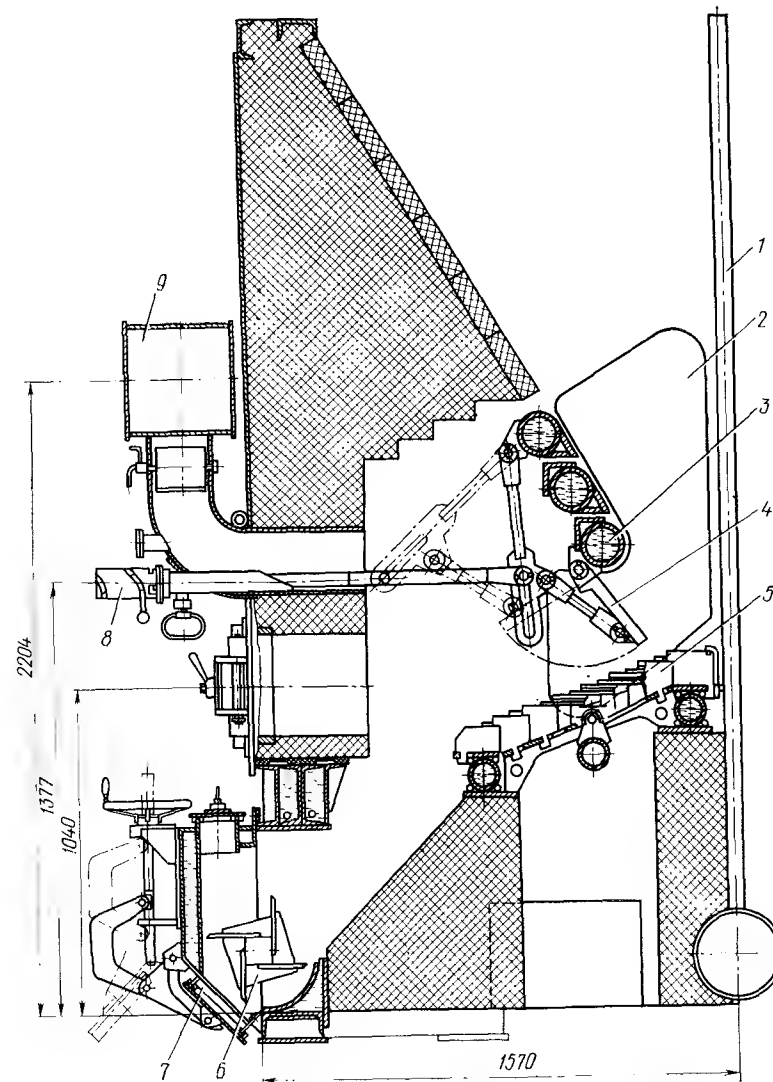


Рис. 9. Топочное устройство ВО-110:

1 — зажимающая решетка; 2 — водяная рубашка; 3 — неподвижный пережим; 4 — подвижный пережим; 5 — колосниковая решетка с переталкивающими колосниками; 6 — выгрузчик золы и шлака; 7 — люк для выгрузки золы и шлака; 8 — привод подвижного колосника; 9 — воздухопровод

зированного золо- и шлакоудаления. Водяные рубашки обеспечивают надежный сход шлака и золы из зоны горения. Топка снабжена пережимом, выполненным из стальных труб диаметром 150 мм, охлаждаемых водой. Угол наклона плоскости пережима 60...65°.



Устройство для механизированного золо- и шлакоудаления включает в себя наклонную колосниковую решетку, выгрузчик золы и шлака и механизм привода колосников и ротора выгрузчика шлака. Колосниковая решетка топки выполнена с переталкивающими колосниками. Выгрузчик золы и шлака — роторного типа. Лопасты выполнены в виде гребенки для дробления крупных кусков шлака и удаления его из топки.

#### Характеристика топочного устройства ВО-110

|                                                                 |             |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| Мощность, МВт                                                   | 7,74        |
| Удельный расход топлива, кг усл. топл./Гкал                     | 190         |
| Масса конструкции, кг                                           | 6150        |
| Ширина полотна решетки, мм                                      | 2565        |
| Частота колебаний колосников, Гц                                | 0,67...0,83 |
| Расстояние от нижней балки пережима до зажимающей решетки, мм   | 290...300   |
| Расстояние от нижней балки пережима до колосниковой решетки, мм | 263...275   |

При проведении балансовых испытаний топочное устройство работало на древесных отходах при средней влажности топлива  $W^p = 52,2\%$  и средней зольности  $A^p = 3,7\%$ . Паропроизводительность котла находилась в пределах  $9,8 \dots 10,4$  т/ч, давление пара  $0,71 \dots 0,78$  МПа. Коэффициент избытка воздуха изменялся  $\alpha = 1,42 \dots 1,78$ . Потери тепла с уходящими газами составили  $14,8 \dots 18,2\%$ , от химической неполноты сгорания  $0,26 \dots 0,54\%$ . Коэффициент полезного действия котлоагрегата находился в пределах  $76,2 \dots 79,3\%$ . Топочное устройство ВО-110 нормально работало как на смеси щепы с опилками в любой пропорции, так и на одних опилках.

Выгрузка золы из топочной камеры осуществлялась не более 1 раза в смену, а выгрузка шлака из топливной камеры  $2 \dots 3$  раза в смену, в зависимости от зольности поступающего топлива. Коксования зажимающей решетки не наблюдалось, шлак сходил на наклонную колосниковую решетку, образование наплывов шлака на стенках топливной шахты не имело места.

**4.3.6. Типы топочных устройств, используемых для сжигания древесных отходов в слое за рубежом.** Использованию отходов в качестве топлива за последние годы стали придавать все большее значение за рубежом не только в связи с увеличением цен на нефтепродукты, но и с возрастающими требованиями к защите окружающей среды. Топливо из отходов деревообработки может почти полностью удовлетворить потребности в тепловой энергии лесопромышленных предприятий, и не требуется дорогостоящего привозного топлива.

За рубежом (в США и Канаде) для сжигания древесных отходов и коры широко используются механические топки с за-

брасывателями. На рис. 10 показан котел, оборудованный топкой с механическими забрасывателями и горизонтальной решеткой, работающий на древесных отходах. Мелкие древесные отходы транспортерами подаются в бункер ленточного питателя 1. По мере потребности ленточный питатель подает топливо через топливные рукава к забрасывателям 2, которые забрасывают его на горизонтальную колосниковую решетку 3, где происходит горение этих отходов в слое. Мелкие парусные частицы топлива сгорают во взвешенном состоянии в области надслойного пламени. Древесные отходы должны быть соответствующим образом измельчены, чтобы они проходили через забрасыватели и

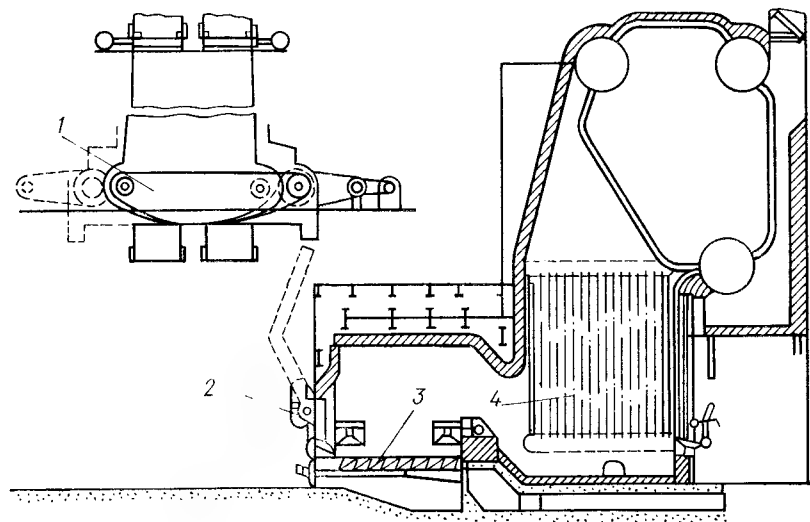


Рис. 10. Топка с механическими забрасывателями:

1 — ленточный питатель; 2 — механический забрасыватель; 3 — горизонтальная колосниковая решетка; 4 — паровой котел

нормально распределялись по решетке. Они должны быть подготовлены так, чтобы примерно 95 % частиц имело размер менее 50 мм. Остальные частицы могут быть длиной до 100 мм и толщиной до 25 мм. Влажность топлива достигает 60%. При таких жестких требованиях к фракционному составу необходимы соответственно дополнительные дробилки и сортировки, что усложняет и удорожает схему топливоподготовки.

Топочные устройства, применяемые за рубежом для сжигания древесной биомассы, имеют большое разнообразие по их принципиальному и конструктивному оформлению. Предлагаются для применения топочные устройства различных типов, начиная от простейших топок с ручным обслуживанием и кончая полностью механизированными устройствами с автоматизи-

рованным управлением. Для советских специалистов представляют большой интерес механизированные топочные устройства с переталкивающими колосниками, имеющие систему водяного охлаждения деталей колосниковой решетки, что обеспечивает длительную их работу без замены деталей, находящихся постоянно в условиях высоких температур. Схема топочного устройства с охлаждаемыми водой переталкивающими колосниками приведена на рис. 11.

Характерной чертой этих решеток является то, что подача топлива осуществляется как за счет силы тяжести, так и за счет

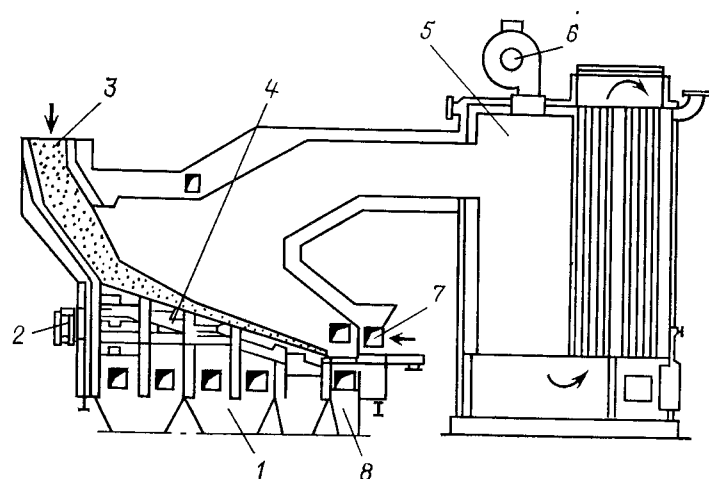


Рис. 11. Топка с переталкивающими колосниками:

1 — подвод первичного воздуха; 2 — механизм управления; 3 — топливный рукав; 4 — колосниковая решетка с переталкивающими колосниками; 5 — паровой котел; 6 — мазутная горелка; 7 — подвод вторичного воздуха; 8 — удаление золы

движения колосников, колебания которых можно изменять в пределах от 4 до 10 в минуту.

Воздух для сжигания топлива подогревается до температуры 100...350 °С и подается в две области топки. Первичный воздух, составляющий 80...85 % общего количества воздуха, подается через воздушные отверстия колосниковых решеток позонно. Вторичный воздух подается с большой скоростью над колосниковой решеткой для сжигания горящих газов с минимальным избытком воздуха.

Удаление золы происходит механически через зольную решетку, которая является продолжением механических колосников. На таких решетках можно сжигать древесные отходы влажностью до 60 % без применения других видов топлива. КПД котлов с такими топками составляет 88 %.

#### 4.4. РАСЧЕТ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВ СЛОЕВОГО ТИПА

Расчет топочных устройств необходим для обоснования размеров топок, их сборочных единиц и деталей при конструировании, модернизации этих устройств, а также для принятия технических решений при наладочных, доводочных работах и проведении испытаний.

Приведем методы расчета топочных устройств, предназначенных для сжигания древесной биомассы, имеющие определенную специфичность по сравнению с расчетом топок для других видов топлива.

**Исходные данные для расчета.** Исходными данными для расчета топок котлоагрегатов, работающих на древесной биомассе, являются: мощность котлоагрегата, МВт; вид древесной биомассы (древесина, кора, гниль и т. п.); влажность  $W^p$ , %; зольность,  $A^p$ , %.

Мощность котлоагрегата определяется общими расчетами по технологии производства и системе теплоснабжения предприятия и дается в тоннах пара в час для паровых котлов и в гигакалориях в час для водогрейных котлов.

Пересчет мощности котла в единицы СИ при этом производится по формулам:  
паровые котлы

$$P = \frac{10^{-3}}{3,6} D i_p, \quad (4.1)$$

где  $P$  — мощность котлоагрегата, МВт;  $D$  — часовая выработка пара, т/ч;  $i_p$  — энтальпия вырабатываемого пара, кДж/кг;  
водогрейные котлы

$$P = 1,163 Q, \quad (4.2)$$

где  $Q$  — часовая выработка тепла котлоагрегата, Гкал/ч.

Котлоагрегаты обычно разрабатываются либо для сжигания стволовой древесины, либо для сжигания коры. Использование в качестве топлива элементов кроны, гнили, древесины корней и т. п. носит пока эпизодический характер.

Влажность и зольность древесной биомассы при расчете топочного устройства принимают максимальные для данных конкретных условий.

При расчете топочного устройства определяются следующие показатели: состав рабочего топлива; теплота сгорания рабочего топлива; объемы образующихся продуктов горения; энтальпия воздуха и продуктов горения; площадь колосниковой решетки; объем топочного пространства; часовой расход топлива.

**4.4.1. Состав рабочего топлива.** Состав рабочего топлива определяется исходя из элементарного состава древесной биомассы на горячую массу по следующим формулам:

$$\begin{aligned} C^p &= C^r \frac{100 - W^p - A^p}{100}; \\ H^p &= H^r \frac{100 - W^p - A^p}{100}; \\ O^p &= O^r \frac{100 - W^p - A^p}{100}; \\ N^p &= N^r \frac{100 - W^p - A^p}{100}. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Для стволовой древесины:  $C^r = 51\%$ ;  $H^r = 6,1$ ;  $O^r = 42,3$ ;  $N^r = 0,6\%$ . Для коры в соответствии с породой см. гл. 2.

**4.4.2. Теплота сгорания рабочего топлива** определяется по формуле:

$$Q_H^p = Q_H^r \frac{100 - W^p - A^p}{100} - 25W^p.$$

Для стволовой древесины

$$Q_H^p = 18880 - 214W^p - 189A^p,$$

где  $Q_H^p$  — теплота сгорания, кДж/кг.

**4.4.3. Объемы образующихся продуктов горения.** Теоретическое количество сухого воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг рабочего топлива, определяется по формуле

$$V^0 = 0,0889C^p + 0,265H^p - 0,0333O^p; \quad (4.4)$$

$$L_0 = 0,115C^p + 0,342H^p - 0,0431O^p, \quad (4.5)$$

где  $V^0$  — теоретическое количество воздуха, м<sup>3</sup>/кг\*;  $L_0$  — теоретическое количество воздуха, кг/кг.

Для стволовой древесины теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг топлива, может быть подсчитано по формуле:

$$V^0 = 4,742 - 0,04742(W^p + A^p). \quad (4.6)$$

Теоретический объем азота рассчитывается по формуле

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^p}{100}, \quad (4.7)$$

где  $V_{N_2}^0$  — теоретический объем азота, м<sup>3</sup>/кг.

Для стволовой древесины теоретический объем азота подсчитывается по формуле

$$V_{N_2}^0 = 3,751 - 0,03751(W^p + A^p). \quad (4.8)$$

Объем углекислого газа определяется формулой

$$V_{CO_2} = 1,866 \frac{C^p}{100}, \quad (4.9)$$

где  $V_{CO_2}$  — объем углекислого газа, образовавшийся при сгорании 1 кг рабочего топлива, м<sup>3</sup>/кг.

Для стволовой древесины можно применять формулу

$$V_{CO_2} = 0,9517 - 0,009517(W^p + A^p). \quad (4.10)$$

Теоретический объем водяных паров\*

$$V_{H_2O}^0 = 0,111H^p + 0,0124W^p + 0,0161V^0, \quad (4.11)$$

где  $V_{H_2O}^0$  — объем водяных паров, образовавшихся при сжигании 1 кг рабочего топлива, м<sup>3</sup>/кг.

Для стволовой древесины эта величина может быть подсчитана по формуле

$$V_{H_2O}^0 = 0,7534 + 0,00486W^p - 0,007533A^p. \quad (4.12)$$

Коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$  называется отношение объема воздуха, действительно израсходованного на сжигание 1 кг рабочего топлива, к теоретически необходимому, т. е.

$$\alpha = V_d/V^0. \quad (4.13)$$

С учетом этого коэффициента действительный объем паров, приходящийся на 1 кг рабочего топлива  $V_{H_2O}$ , составит

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1)V^0. \quad (4.14)$$

Объем дымовых влажных газов, образовавшийся при сгорании 1 кг рабочего топлива  $V_r^p$ , равен

$$V_r^p = V_{CO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha - 1)V^0. \quad (4.15)$$

Объем сухих газов, образовавшихся при сжигании 1 кг рабочего топлива, равен

$$V_r^c = V_{CO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha - 1)V^0.$$

Состав сухих газов следующий:

азот

$$N_2 = \frac{V_{N_2}^0 + (\alpha - 1)0,79V^0}{V_r^c} \cdot 100;$$

\* Здесь и в дальнейшем 1 м<sup>3</sup> газа принимается при температуре 0 °С и давлении 101 кПа.

\* В формулах для определения объема водяных паров (4.11); (4.14) влагосодержание воздуха принято равным 10 г на 1 кг сухого воздуха.

углекислый газ

$$\text{CO}_2 = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{r}}^c} \cdot 100; \quad (4.16)$$

кислород

$$\text{O}_2 = \frac{0,21 (\alpha - 1) V^0}{V_{\text{r}}^c} \cdot 100,$$

где  $N_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  — расчетное содержание в сухих дымовых газах соответственно азота, углекислого газа и кислорода по объему, %.

Содержание влаги во влажных дымовых газах по объему в процентах составит

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\text{r}}^b} \cdot 100. \quad (4.17)$$

**4.4.4. Энтальпия продуктов горения.** Энтальпия дымовых газов на 1 кг сжигаемого рабочего топлива подсчитывается по формуле

$$I = I_{\text{r}}^0 + (\alpha - 1) I_{\text{в}}^0, \quad (4.18)$$

где  $I_{\text{r}}^0$  — энтальпия газов при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1$  и температуре газов  $\vartheta$ , °C;

$$I_{\text{r}}^0 = V_{\text{CO}_2} (c\vartheta)_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 (c\vartheta)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}},$$

где  $(c\vartheta)$  — энтальпия данного компонента по табл. 20, кДж/м³;  $I_{\text{в}}^0$  — энтальпия теоретически необходимого объема воздуха, кДж/м³, определяется по формуле

$$I_{\text{в}}^0 = V^0 (c\vartheta)_{\text{в}}. \quad (4.19)$$

При сжигании многозольных топлив, для которых справедливо неравенство  $1000 \frac{a_{\text{ун}} A^p}{Q_{\text{н}}^p} > 6$ , к энтальпии дымовых газов

по формуле (4.18) необходимо добавить энтальпию золы, которая определяется по уравнению

$$I_{\text{з}} = (c\vartheta)_{\text{з}} \frac{A^p}{100} a_{\text{ун}}, \quad (4.20)$$

где  $(c\vartheta)_{\text{з}}$  — энтальпия 1 кг золы, кДж/кг, по данным табл. 30;  $a_{\text{ун}}$  — доля золы топлива, уносимая газами, принимаемая для слоевых топок в пределах от 0,2 до 0,3.

**4.4.5. Определение площади зеркала горения и площади колосниковой решетки.** Зеркалом горения называют верхнее сечение слоя, в котором происходит горение топлива. Для слоевых топок с горизонтальным и наклонным слоем топлива площадь зеркала горения принимают равной площади колосниковой решетки. В топках с вер-

## 20. Энтальпия компонентов дымовых газов воздуха и золы

| Температура,<br>$\vartheta$ , °C | Энтальпия, кДж/м³                                      |                                         |                                             |                                                         |                                         |                                      |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
|                                  | углекислого<br>газа,<br>(с $\vartheta$ ) $\text{CO}_2$ | азота,<br>(с $\vartheta$ ) $\text{N}_2$ | кислорода,<br>(с $\vartheta$ ) $\text{O}_2$ | паров<br>воды,<br>(с $\vartheta$ ) $\text{H}_2\text{O}$ | воздуха,<br>(с $\vartheta$ ) $\text{в}$ | золы,<br>(с $\vartheta$ ) $\text{з}$ |
| 100                              | 170                                                    | 130                                     | 132                                         | 151                                                     | 132                                     | 81                                   |
| 200                              | 358                                                    | 260                                     | 267                                         | 304                                                     | 266                                     | 169                                  |
| 300                              | 559                                                    | 392                                     | 407                                         | 463                                                     | 408                                     | 264                                  |
| 400                              | 772                                                    | 527                                     | 551                                         | 626                                                     | 542                                     | 360                                  |
| 500                              | 996                                                    | 664                                     | 699                                         | 795                                                     | 684                                     | 458                                  |
| 600                              | 1223                                                   | 804                                     | 850                                         | 967                                                     | 830                                     | 560                                  |
| 700                              | 1461                                                   | 946                                     | 1005                                        | 1147                                                    | 980                                     | 662                                  |
| 800                              | 1704                                                   | 1093                                    | 1160                                        | 1336                                                    | 1130                                    | 767                                  |
| 900                              | 1951                                                   | 1243                                    | 1319                                        | 1524                                                    | 1281                                    | 875                                  |
| 1000                             | 2202                                                   | 1394                                    | 1478                                        | 1725                                                    | 1436                                    | 984                                  |
| 1100                             | 2458                                                   | 1545                                    | 1637                                        | 1926                                                    | 1595                                    | 1097                                 |
| 1200                             | 2717                                                   | 1696                                    | 1800                                        | 2131                                                    | 1754                                    | 1206                                 |
| 1300                             | 2977                                                   | 1851                                    | 1964                                        | 2345                                                    | 1913                                    | 1361                                 |
| 1400                             | 3241                                                   | 2010                                    | 2127                                        | 2558                                                    | 2077                                    | 1583                                 |
| 1500                             | 3504                                                   | 2165                                    | 2294                                        | 2780                                                    | 2244                                    | 1758                                 |
| 1600                             | 3768                                                   | 2324                                    | 2462                                        | 3002                                                    | 2403                                    | 1876                                 |
| 1700                             | 4036                                                   | 2483                                    | 2629                                        | 3228                                                    | 2567                                    | 2064                                 |
| 1800                             | 4304                                                   | 2642                                    | 2797                                        | 3458                                                    | 2730                                    | 2186                                 |
| 1900                             | 4572                                                   | 2805                                    | 2968                                        | 3689                                                    | 2897                                    | 2385                                 |
| 2000                             | 4844                                                   | 2964                                    | 3140                                        | 3927                                                    | 3065                                    | 2512                                 |
| 2100                             | 5116                                                   | 3128                                    | 3308                                        | 4162                                                    | 3232                                    | —                                    |
| 2200                             | 5388                                                   | 3291                                    | 3483                                        | 4400                                                    | 3400                                    | —                                    |

тикальным слоем К. В. Кирша площадь зеркала горения принимают равной площади окна в задней стенке топки, через которое выходят в топочный объем продукты сгорания.

В топках с зажатым слоем за площадь зеркала горения принимают активную площадь зажимающей решетки, через которую выходят в топочную камеру продукты сгорания.

Теплонапряжением колосниковой решетки или зеркала горения называют количество тепловой энергии, выделяющееся в единицу времени на 1 м² площади.

Теплонапряжение колосниковой решетки или зеркала горения является основным нормативным показателем при расчете топочных устройств слоевого процесса сгорания. На основании нормативного значения этого показателя определяется площадь колосниковой решетки или зеркала горения по формуле

$$R = \frac{P}{q_R \eta_{\text{ка}}}, \quad (4.21)$$

где  $R$  — площадь колосниковой решетки или зеркала горения, м²;  $\eta_{\text{ка}}$  — КПД котлоагрегата в долях единицы;  $q_R$  — теплонапряжение колосниковой решетки или зеркала горения, кВт/м²;  $P$  — мощность котлоагрегата, кВт.

Значения теплонапряжения колосниковой решетки и зеркала горения приводятся в табл. 21.

**4.4.6. Определение объема топочного пространства.** Объемом топочного пространства  $V_T$  в слоевых топках называют пространство, ограниченное слоем топлива, трубами

**21. Теплонапряжение колосниковой решетки, зеркала горения и объема топочного пространства для различных видов топочных устройств**

| Тип топочного устройства                                       | Вид применяемого топлива      | Теплонапряжение         |                              |                                       |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
|                                                                |                               | зеркала горения, кВт/м² | колосниковой решетки, кВт/м² | объема топочного пространства, кВт/м³ |
| Топка с горизонтальным слоем и ручным обслуживанием            | Дрова                         | 1160                    | 1160                         | 350                                   |
| Топка с вертикальным слоем К. В. Кирша                         | То же                         | 3500                    | 1400                         | 350                                   |
| Топка с наклонным слоем                                        | »                             | 1400                    | 1400                         | 350                                   |
| Топка с наклонным слоем и ступенчатой колосниковой решеткой    | Древесные опилки              | 700                     | 700                          | 300                                   |
| Топка с наклонным слоем и балочными беспробальными колосниками | То же                         | 700                     | 700                          | 300                                   |
|                                                                | Щепа и стружка                | 800                     | 800                          | 300                                   |
|                                                                | Крупнокусковые отходы и дрова | 1300                    | 1300                         | 350                                   |
|                                                                | Рубленая щепа                 | 5800 . . 9300           |                              | 350 . . 460                           |
| Топка с зажатым слоем системы В. В. Померанцева                | Рубленая щепа и опилки        | 2300 . . 4700           |                              | 350 . . 460                           |
|                                                                | Щепа в смеси с корой          | 2300 . . 4700           |                              | 350 . . 460                           |

экранов котла и стенками обмуровки, т. е. замкнутый объем над слоем горящего топлива.

Теплонапряжением топочного пространства  $q_V$  называют отношение количества тепловой энергии, выделяющейся в топке в единицу времени, к объему топочного пространства. Теплонапряжение топочного пространства является основным нормативным показателем для расчета топочных устройств. Объем топочного пространства  $V_T$  определяют по формуле

$$V_T = \frac{P}{q_V \eta_{ка}} \quad (4.22)$$

Значение  $q_V$  приведено для различных топок и видов топлива в табл. 31.

**4.4.7. Определение часового расхода топлива.** Часовой расход топлива выражается в различных единицах, а именно: в килограммах условного топлива, в килограммах ра-

бочего топлива, в плотных кубометрах древесной биомассы и в насыпных кубометрах данного конкретного вида древесной биомассы.

Часовой расход топлива в килограммах условного топлива  $B_{усл.т}$  подсчитывается по формуле

$$B_{усл.т} = \frac{0,1228P}{\eta_{ка}} \quad (4.23)$$

Часовой расход рабочего топлива  $B_{р.т}$  в тоннах определяется по формуле

$$B_{р.т} = \frac{3,6P}{Q_n^p \eta_{ка}} \quad (4.24)$$

где  $Q_n^p$  — теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг.

При сжигании древесной биомассы для выполнения технологических расчетов по топливоподаче, буферному и межсезонному хранению древесных отходов часто требуется знать расход топлива в плотных и складочных кубометрах.

Часовой расход топлива в плотных кубометрах  $B_{п.к}$  определяется по формуле

$$B_{п.к} = \frac{0,1228P}{\mathcal{E} \eta_{ка}} \cdot 10^{-3}, \quad (4.25)$$

где  $\mathcal{E}$  — калорийный эквивалент (см. рис. 1 и 2), т усл. топл./пл. м³.

**22. Некоторые показатели топок для сжигания древесной биомассы в слое**

| Наименование показателя                                      | Топки шахтные с наклонным слоем |                             | Топки ЦКТИ системы В. В. Померанцева |                                                |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                                              | Торф кусковой $W^P=40\%$        | Древесные отходы $W^P=50\%$ | Древесная щепа $W^P=40\% \dots 50\%$ | Древесные отходы, опилки $W^P=40\% \dots 50\%$ |
| Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки               | 1,4                             | 1,4                         | 1,2                                  | 1,3                                            |
| Потери от химической неполноты горения $q_3, \%$             | 2,0                             | 2,0                         | 1,0                                  | 1,0                                            |
| Потери тепла с уносом $q_{унос}, \%$                         | 1                               | 2                           | 2,0                                  | 2,0                                            |
| Суммарная потеря от механической неполноты горения $q_4, \%$ | 2                               | 2                           | 2                                    | 2                                              |
| Давление воздуха под колосниковой решеткой, Па/мм вод. ст.   | 590/60                          | 780/80                      | 780/80                               | 690/70                                         |
| Рекомендуемая температура воздуха для дутья, °С              | 200 . . 250                     | 200 . . 250                 | 200 . . 250                          | 200 . . 250                                    |

Часовой расход топлива в складочных кубометрах  $V_{скл}$  можно подсчитать по формуле

$$V_{скл} = \frac{0,1228P}{ЭП\eta_{ка}} \cdot 10^{-3}, \quad (4.26)$$

где  $P$  — коэффициент полндревесности (см. с. 32).

Наиболее характерные показатели работы слоевых топок при сжигании древесной биомассы приводятся в табл. 22.

## 5. ВИХРЕВОЙ И ФАКЕЛЬНЫЙ СПОСОБЫ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

### 5.1. ВИХРЕВОЙ СПОСОБ СЖИГАНИЯ

Вихревой способ сжигания заключается в сжигании измельченных высокорекреационных топлив во взвешенном состоянии во время витания их частиц в топочной камере по круговым или петлевым траекториям. Вращательное движение газовой среды в топочной камере создается нижним подводом первичного воздуха тангенциально закругленной внутренней поверхности этой камеры.

Вихревой способ с точки зрения требований к степени дисперсности сжигаемого топлива занимает промежуточное место между слоевым и другими способами сжигания во взвешенном состоянии (факельным, циклонным и пр.).

Для вихревых топок характерным является наличие дожигательных колосниковых решеток, на которые выпадают крупные частицы топлива, скорость витания которых существенно превышает вихревую скорость газовой среды в топочном объеме.

Анализ сил, действующих на отдельную частичку в вихревом потоке [18], показывает, что скорость движения газовой фазы относительно поверхности частицы возрастает с увеличением скорости вращения газового вихря и с уменьшением радиуса вращения. Отсюда можно сделать вывод, что для повышения интенсивности гетерогенных процессов тепло- и массообмена желательно увеличивать скорость вихревого движения газовой среды в топочной камере и уменьшать радиус кривизны траектории частиц. В этом состоит основной принцип интенсификации процессов сгорания в топочных устройствах вихревого способа сжигания.

Областью применения топочных устройств вихревого типа является сжигание топлива с высоким выходом летучих и со средней степенью измельченности. Успешно сжигаются в вихревых топках опилки и стружки.

### 5.2. ТОПОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА, РАБОТАЮЩИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИХРЕВОГО СПОСОБА СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

В Советском Союзе получили распространение вихревые топочные устройства для сжигания фрезерного торфа, опилок, стружек и другого мелкого топлива. Наиболее известной конструкцией топки такого типа являлась топка ЦКТИ системы А. А. Шершнева (рис. 12). Топливо из расходного бункера 1 питателем 2 через канал 3 подается в вихревую топочную камеру 4. Воздух, поступающий из воздухоподогревателя через сопла 7 навстречу падающим частицам топлива, обеспечивает вихревое движение газов в топочной камере 4. Мелкие частицы топлива при этом подсушиваются, воспламеняются и выносятся в камеру 10, где завершается процесс горения. Более крупные, тяжелые частицы топлива выпадают из вихревого потока и попадают на решетку 5, где догорают в слое благодаря воздуху, подаваемому через короб 6. Крупные частицы, вынесенные из камеры 4 в камеру 10, также выпадают из потока газов и скапливаются на дожигательной решетке 9, где и сгорают в потоке вторичного воздуха, подводимого через короб 8.

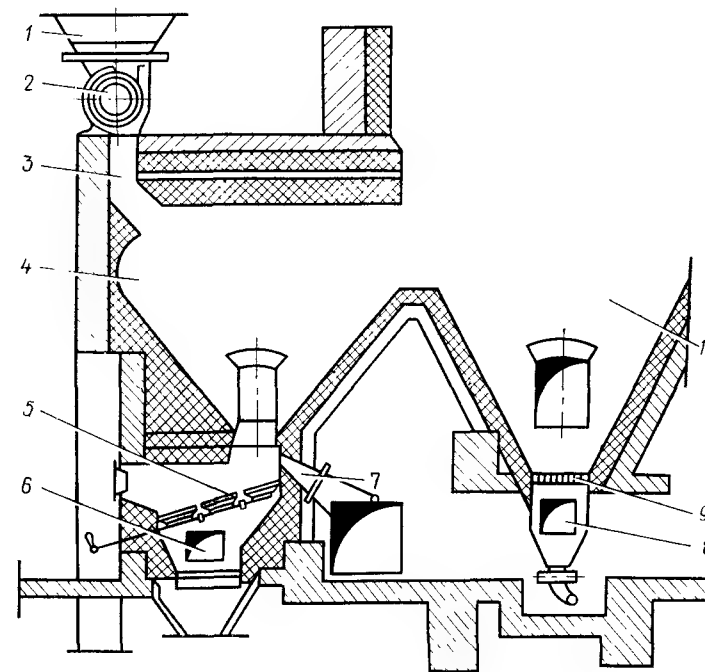


Рис. 12. Принципиальная схема вихревой топки ЦКТИ системы А. А. Шершнева

Примерно 70 % воздуха, необходимого для сжигания топлива, подводится через сопла, а 30 % подается под дожигательные решетки.

Для обеспечения экономичной работы котлоагрегата с вихревой топкой необходимо: скорость первичного воздуха на выходе из сопла 7 поддерживать на основном режиме работы котла в пределах 30...40 м/с, регулировать подачу вторичного дутья так, чтобы коэффициент избытка воздуха в конце топки был в пределах  $\alpha = 1,2 \dots 1,3$ , поддерживать температуру дутьевого воздуха в пределах от 200 до 250 °С.

Основным недостатком топки Шершнева является шлакование стенок топочной камеры и вообще затруднения с удалением шлака. Для устранения этого в ряде случаев топочную камеру экранируют трубами, включенными в систему циркуляции котла.

### 5.3. РАСЧЕТ ВИХРЕВЫХ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Методика расчета топочных устройств вихревого типа аналогична методике расчета топок слоевого типа и осуществляется по тем же самым формулам. Однако расчетные величины при этом принимаются различные. Слойные топки имеют два основных расчетных показателя: площадь колосниковой решетки или зеркала горения и объем топочного пространства. Для вихревых топок устанавливается один основной расчетный показатель — объем топочного пространства  $V_T$ . Площадь дожигательных колосниковых решеток, имеющих в работе топок вспомогательное значение, определяют, исходя из конструктивных соображений. Объем топочного пространства вихревой топки определяется по его теплонапряжению. Выбирая конкретное значение теплонапряжения топочного пространства, необходимо иметь в виду, что от этого показателя в существенной мере зависят суммарные потери на химическую и механическую неполноту сгорания. Чем больше теплонапряженность объема то-

### 23. Расчетные потери тепла на химическую $q_3$ и механическую $q_4$ неполноту сгорания

| Вид топлива                            | Сумма тепловых потерь $q_3 + q_4$ (%) при теплонапряжении топочного пространства, кВт/м³ |        |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                                        | 175                                                                                      | 350    |
| Фрезерный торф влажностью $W^p = 50\%$ | 3...5                                                                                    | 7...9  |
| Бурый уголь $W^p = 55\%$               | 4...6                                                                                    | 8...10 |
| Древесные опилки $W^p = 45\%$          | 1...2                                                                                    | 3...4  |

почной камеры, тем больше эти потери. Эта взаимозависимость отражается в табл. 23 расчетных потерь тепла при топочных устройствах вихревого типа.

Рекомендуется следующее распределение дутьевого воздуха в процентах от общего объема: сопло вихревой камеры 70; решетка вихревой камеры 20; решетка камеры догорания 10.

Напор дутьевого воздуха перед соплом должен быть равен 40...80 мм вод. столба (400...800 Па). Расчетный коэффициент избытка воздуха на выходе из вихревой топки принимают для древесных опилок и стружек равным  $\alpha = 1, 2 \dots 1,3$ .

### 5.4. ФАКЕЛЬНЫЙ СПОСОБ СЖИГАНИЯ ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА

Факельный способ сжигания применяется в очень широких масштабах для сжигания каменных углей, измельченных в высокодисперсную угольную пыль. Этим способом эффективно сжигают даже те виды ископаемого топлива, которые вследствие малой реакционной способности не могут быть сжигаемы слоевым способом.

Однако для того, чтобы эффективно сжигать топливо в факеле, необходимо его измельчать так, чтобы размер отдельных

### 24. Фракционный состав опилок от лесопильной рамы

| Вид биомассы | Остаток на ситах, %, в зависимости от размеров отверстий, мм |      |      |     |
|--------------|--------------------------------------------------------------|------|------|-----|
|              | 10                                                           | 5    | 2    | 1   |
| Древесина    | 7,9                                                          | 25,4 | 62,3 | 4,4 |
| Кора         | 3,0                                                          | 6,5  | 65,5 | 25  |

частиц не превышал 200 мкм. Ископаемые угли обладают хрупкостью, и размол их не представляет особых технологических трудностей при помощи шаровых (для антрацитов и тощих каменных углей) или молотковых (для каменных углей с высоким выходом летучих и бурых углей) мельниц. Древесина не обладает хрупкостью, и ее измельчение до такой дисперсности затруднительно. Факельный процесс может быть применен для сжигания мелких опилок и шлифовальной пыли, имеющих допустимые для этого размеры частиц. Фракционный состав опилок от лесопильной рамы указан в табл. 24.

Фракционный состав остатка опилок после сита с отверстиями 5 мм показан в табл. 25.

Фракционный состав древесной пыли, образующейся на шлифовальных станках, следующий:

|                     |       |       |         |         |         |
|---------------------|-------|-------|---------|---------|---------|
| Размеры фракций, мм | 0,315 | 0,250 | 0,180   | 0,125   | 0,063   |
| Остаток на ситах, % | 0     | 5     | 20...50 | 30...40 | 35...40 |

**25. Фракционный состав остатка опилок после просеивания их через сито с отверстиями 5 мм**

| Вид опилок | Фракционный состав, %, по размерам, мм |               |               |             |           |
|------------|----------------------------------------|---------------|---------------|-------------|-----------|
|            | 0 . . . 0,5                            | 0,5 . . . 0,8 | 0,8 . . . 1,3 | 1,3 . . . 2 | 2 . . . 5 |
| Мелкие     | 21                                     | 12,4          | 16,7          | 24,4        | 25,5      |
| Грубые     | 7,6                                    | 8,3           | 20,6          | 23,8        | 39,7      |

Таким образом, фракционный состав опилок и шлифовальной древесной пыли существенно различен. Основная часть опилок от лесопильной рамы имеет размер частиц больше 2 мм. Это позволяет успешно сжигать опилки в слоевых топках. Незначительное содержание в опилках частиц размером менее 1 мм делает маловероятным образование аэрозолей опилок с взрывоопасной концентрацией.

Состав фракции древесной пыли, образующейся на одних и тех же станках, существенно варьирует в зависимости от свойств обрабатываемого материала, его влажности, зернистости шлифовальной шкурки и т. п. Однако размер ее частиц изменяется в пределах от 40 до 500 мкм, причем средний размер частиц меньше 250 мкм.

Столь высокая степень дисперсности шлифовальной пыли обуславливает возможность образования аэрозоля этой пыли взрывоопасной концентрации. Сжигание шлифовальной пыли по этой причине в топочных устройствах слоевого типа недопустимо по условию исключения возможности ее взрывов и вспышек в топочной камере и газовом тракте котла.

Сжигание древесной шлифовальной пыли может быть организовано только во взвешенном состоянии по факельному или циклонному способу.

**5.5. СЖИГАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ПЫЛИ ФАКЕЛЬНЫМ СПОСОБОМ**

Принципиальная схема сжигания пылевидных древесных отходов высокой дисперсности приведена на рис. 13.

Древесная пыль от места ее образования подается пневмотранспортом в циклон 9, где от нее отделяется транспортирующий воздух, а пыль сыпается в сборочный бункер 8, в котором установлен ворошитель 7, ликвидирующий зависание и сводообразование этого материала в бункере. Из сборочного бункера пыль питателем 6 подается в загрузочную воронку, подхватывается воздухом, засасываемым вентилятором 5, и далее направляется в пылевые горелки, установленные в топочных камерах котлоагрегатов 1.

Основное условие избежания взрыва при розжиге топки состоит в том, что перед подачей пыли в пылевые горелки топочное устройство разогревается до такой степени, что температура в топочной камере достигает 900 °С. Разогревание топки может быть достигнуто путем сжигания в топочном устройстве древесного топлива, мазута или природного газа. Для этой цели на фронтальной стенке топки монтируются газомазутные горелки.

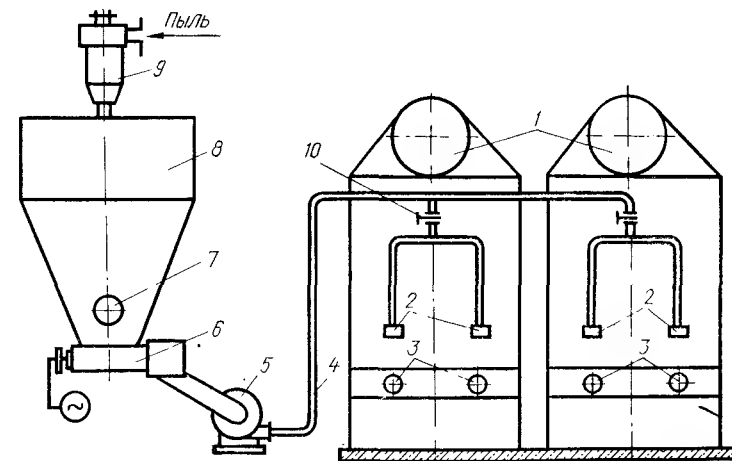


Рис. 13. Принципиальная схема факельного сжигания древесной пыли: 1 — котлоагрегаты; 2 — пылевые горелки; 3 — газомазутные горелки; 4 — пылепровод; 5 — вентилятор подачи пылевоздушной смеси; 6 — питатель; 7 — ворошитель; 8 — сборочный бункер; 9 — циклон; 10 — взрывной клапан

Для экономичного сжигания пыли необходимо так отрегулировать систему пневмотранспорта пыли от сборочного бункера к топочным устройствам, чтобы коэффициент избытка воздуха после топки находился в пределах  $\alpha = 1,2 \dots 1,3$ .

При наличии в пыли крупных древесных частиц, выпадающих из факела на под топочной камеры, целесообразно установить на нем дожигательную колосниковую решетку и подвести снизу воздух для дожигания выпавших частиц.

Древесно-шлифовальная пыль, кроме частиц древесины, содержит абразивные частицы, отпавшие от поверхности шлифовальной шкурки.

При сжигании древесно-шлифовальной пыли факельным способом в топочных камерах котлоагрегатов типа ДКВр на стенках камер образуются сплавленные стекловидные шлаки высокой механической прочности. Удаление этих шлаков требует больших трудовых затрат и связано с длительными простоями котлоагрегатов.



## 5.6. РАСЧЕТ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ В ТОПКУ ДРЕВЕСНОЙ ПЫЛИ И ОПИЛОК

Вопрос использования пневматической подачи в топку древесной пыли и опилок для сжигания их факельным способом составил предмет многочисленных дискуссий. Многие специалисты-теплотехники до сих пор считают, что факельный способ сжигания мелких древесных отходов при подаче их в топку пневмотранспортным устройством неприемлем вообще, поскольку количество подводимого при этом воздуха определяется условиями транспортирования топлива по трубам, а не условиями эффективного сжигания его в топочном устройстве.

Настоящий расчет имеет целью доказать, что возможно обеспечить надежную подачу древесной пыли и опилок в топку пнев-

### 26. Средняя скорость воздуха в трубах пневмотранспорта и допустимая массовая концентрация

| Транспортируемый материал                                                                                                                      | Средняя скорость воздуха, м/с | Массовая концентрация аэросмеси, кг/кг |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| Опилки                                                                                                                                         | 14...16                       | 0,2...0,6                              |
| Стружка                                                                                                                                        | 17...18                       | 0,2...0,7                              |
| Технологическая щепа из стволовой древесины влажностью $W^p = 38...41\%$ , получаемая на дисковых рубильных машинах АЗ-01, АЗ-02               | 25...38                       | 1,5                                    |
| Технологическая щепа из отходов лесозаготовок влажностью $W^p = 38...41\%$ , получаемая на барабанной рубильной машине ДУ-2                    | 23...36                       | 1,5                                    |
| Технологическая щепа из стволовой древесины и отходов лесопиления влажностью $W^p = 38...41\%$ , полученная на рубильных машинах АЗ-11 и АЗ-12 | 22...34                       | 1,55                                   |

мотранспортной установкой при обеспечении сжигания их с оптимальными параметрами процесса. В качестве исходных данных приведем рекомендуемые скорости движения воздуха в трубах пневмотранспорта и массовые концентрации аэросмеси (табл. 26).

Массовой концентрацией аэросмеси называют отношение производительности установки к расходу воздуха. Массовая концентрация определяется по формуле

$$\mu = G_m / G_v, \quad (5.1)$$

где  $\mu$  — массовая концентрация аэросмеси, кг/кг;  $G_m$  — производительность установки, кг/с;  $G_v$  — расход воздуха, кг/с.

Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ , массовая концентрация аэросмеси  $\mu$  и теоретически необходимое количество воздуха

для сжигания 1 кг топлива  $L^0$  в кг/кг взаимосвязаны следующим уравнением:

$$\alpha = \frac{1}{\mu L^0}. \quad (5.2)$$

Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг топлива (кг/кг) можно подсчитать по формуле

$$L^0 = 0,115C^p + 0,342H^p - 0,0431O^p,$$

где  $C^p$ ;  $H^p$ ;  $O^p$  — содержание на рабочую массу соответственно углерода, водорода и кислорода, %.

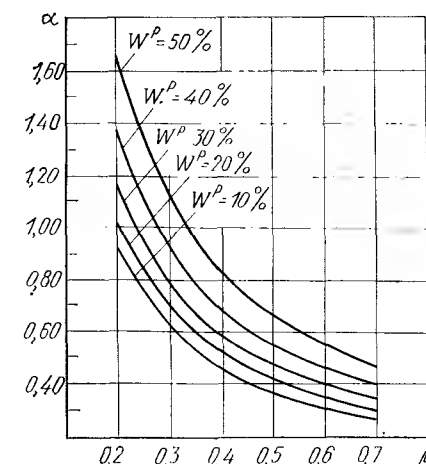


Рис. 14. Зависимость возможного коэффициента избытка воздуха от влажности древесной пыли и концентрации аэросмеси

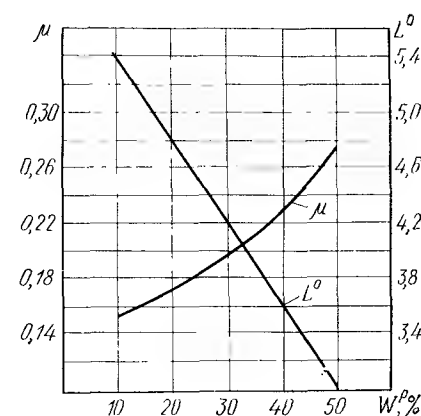


Рис. 15. Зависимость концентрации аэросмеси и теоретически необходимого количества воздуха от влажности древесной пыли

С учетом этих зависимостей коэффициент избытка воздуха можно определить по уравнению

$$\alpha = \frac{1}{\mu (0,115C^p + 0,342H^p - 0,0431O^p)}. \quad (5.3)$$

Подсчитанный по этой формуле коэффициент избытка воздуха для различных концентраций аэросмеси показан в виде графиков для различной влажности рабочего топлива (рис. 14). Анализ результатов произведенных расчетов позволяет сделать вывод, что возможный коэффициент избытка воздуха по условиям транспортирования топлива при концентрации  $\mu = 0,3$  кг/кг ниже коэффициента избытка воздуха, определяемого из условия минимальных тепловых потерь. Как известно, при сжигании древесной пыли и опилок в факеле максимальный коэффициент

избытка воздуха по условию минимальной суммы тепловой потери на химическую неполноту сгорания и потери тепла с отходящими газами составляет примерно  $\alpha = 1,2$ .

Принимая максимальное значение коэффициента избытка воздуха равным  $\alpha = 1,2$ , можно определить зависимость концентрации аэросмеси от влажности топлива по формуле

$$\mu = \frac{1}{1,2 (0,115C_p + 0,342H_p - 0,0431O_p)}$$

График зависимости концентрации аэросмеси при максимальном коэффициенте избытка воздуха от влажности топлива показан на рис. 15.

График этого рисунка наглядно иллюстрирует, что на всем диапазоне влажности топлива от 10 до 50 %, необходимая для эффективного сгорания, концентрация аэросмеси не превышает 0,3 кг/кг, что ниже предельного значения этого показателя по табл. 26 равного 0,6 кг/кг.

Весьма сложной при сжигании древесной пыли и опилок является задача регулирования котельной установки. При решении этой задачи условие поддержания оптимального режима горения противоречит условию необходимости обеспечить потребную скорость воздуха в пневмопроводах при уменьшении расхода воздуха, необходимого для сжигания. Как видно из табл. 26, максимальная скорость воздуха достигает 38 м/с, а минимальная равна 14 м/с.

Для обеспечения возможности регулирования процесса сжигания стружек, опилок и древесной пыли расчет диаметра трубопровода надо вести из условия, что при минимальной теплопроизводительности котлоагрегата скорость воздуха в трубе пневмотранспорта для опилок и пыли должна быть равна 14, а для стружки 17 м/с.

При номинальной производительности котлоагрегата скорость воздуха в трубе пневмотранспорта при этом не должна превышать 36...38 м/с.

## 5.7. ОРГАНИЗАЦИЯ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ПЫЛИ ФАКЕЛЬНЫМ СПОСОБОМ

Организация на предприятии сжигания древесно-шлифовальной пыли в топочных устройствах паровых и водогрейных котлов требует проектирования системы подачи пыли в котельную от мест ее образования, включая сборочный бункер, устройство отбора из него пыли, а также системы подачи пыли в топочные устройства для сжигания. При выполнении указанных проектных работ должны быть учтены правила по взрывобезопасности всех узлов и системы в целом. Выполнение монтажных работ целесообразно поручать специализированным монтажно-наладочным организациям.

Преимуществами факельного способа сжигания древесно-шлифовальной пыли являются:

- возможность сжигать пылевидные древесные отходы вместе с газом и мазутом при влажности пыли до 25 %;

- незначительный объем работ по реконструкции котлоагрегатов при приспособлении их для сжигания пылевидного топлива;

- возможность оптимизации параметров пневмотранспортной подачи пылевидного топлива и его сжигания на номинальном режиме.

Однако факельное сжигание древесно-шлифовальной пыли не лишено и существенных недостатков. К ним относятся:

- образование на стенках топок сплавленного шлака высокой прочности, что приводит к длительным простоям котлов и значительным затратам труда при удалении шлака;

- трудность регулирования нагрузки котла с поддержанием оптимального соотношения топлива и воздуха.

Факельный способ сжигания пылевидного топлива рекомендуется применять для сжигания чистых опилок с относительно небольшой добавкой шлифовальной пыли.

## 6. ЦИКЛОННЫЙ СПОСОБ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

### 6.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЦИКЛОННОГО СЖИГАНИЯ

Впервые циклонный процесс сжигания как основа организации сжигания топлива во взвешенном состоянии был предложен проф. Г. Ф. Кнорре. Сущность циклонного процесса заключается в том, что сжигание мелкого топлива локализуется в цилиндрической топочной камере, где посредством подвода воздуха тангенциально внутренней поверхности камеры создается интенсивное вращательное движение воздуха, продуктов горения и взвешенных в этой газовой среде частичек топлива. Как правило, выходное отверстие камеры имеет диаметр существенно меньше диаметра циклонной камеры. Вследствие этого крупные частицы пребывают в топочной камере до тех пор, пока их размер не уменьшится до пределов, обеспечивающих их вынос вместе с нагретыми до высокой температуры продуктами горения.

Циклонные топочные устройства являются результатом развития вихревых топок при проведении работ по интенсификации процесса вихревого сжигания. В циклонных топках наилучшим образом реализуются возможности повышения эффективности массо- и теплообмена между поверхностью взвешенных частиц топлива и газовой средой за счет увеличения скорости вихревого движения воздуха и продуктов сгорания и допустимого

уменьшения внутреннего диаметра топочной камеры. Это дает возможность сжигать в циклонных топках разнообразные виды твердого топлива при сравнительно грубом помоле (до 5 мм) и уменьшить размеры топочной камеры. Циклонные топки хорошо улавливают золу и удачно komponуются с различными котлоагрегатами.

## 6.2. ТОПОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА ЦИКЛОННОГО ТИПА

Топочные устройства циклонного типа подразделяются на вертикальные и горизонтальные. В топочных устройствах вертикального типа создаются наилучшие газодинамические условия для снижения механического недожога топлива и улавливания частиц золы. Однако циклонные устройства вертикального типа требуют более равномерного фракционного состава сжигаемого топлива. Они более громоздки и трудно вписываются в габарит котельных установок.

Горизонтальные циклонные топки менее требовательны к фракционному составу сжигаемого топлива. Недостатком их считается более высокое гидравлическое сопротивление. В настоящее время более приемлемыми для разработки и внедрения являются горизонтальные циклонные топочные устройства. Принципиальная схема циклонного сжигания древесно-шлифовальной пыли и опилок показана на рис. 16.

Древесная пыль и опилки подаются пневмотранспортером или системой транспортеров в бункер 1, снабженный рыхлителем для устранения зависания хранимого в нем материала. Из бункера питателем 2 пыль и опилки выгружаются на транспортер 3, который доставляет их в эжектор-смеситель 11. Здесь они подхватываются воздухом, подаваемым вентилятором 10, и направляются по касательному патрубку в циклонную камеру топки. Топка состоит из внешнего металлического корпуса 5, внутри которого смонтирован футерованный корпус 8, снабженный кольцевым пережимом 7 и выходным патрубком 9.

Воздух для сжигания пыли и опилок подается вентилятором 10 в зазор между наружным и внутренним футерованными кожухами топки. Он охлаждает внутренний футерованный корпус топки и затем проходит в установленные тангенциально внутренней поверхности циклонной камеры воздушные сопла 6, обеспечивая интенсивное вращательное движение газов внутри топки. Кольцевой пережим 7 служит для обеспечения дожига крупных частиц на начальном участке топочной камеры.

С торцевой стороны топочной камеры устанавливается газомазутная горелка 4, которая служит для разогрева топки при ее розжиге. Нагрев футеровки при операции розжига топки должен продолжаться до тех пор, пока температура ее не достигнет 800...900 °С. Только после такого разогрева топочной камеры следует начать подачу в топку пылевоздушной смеси.

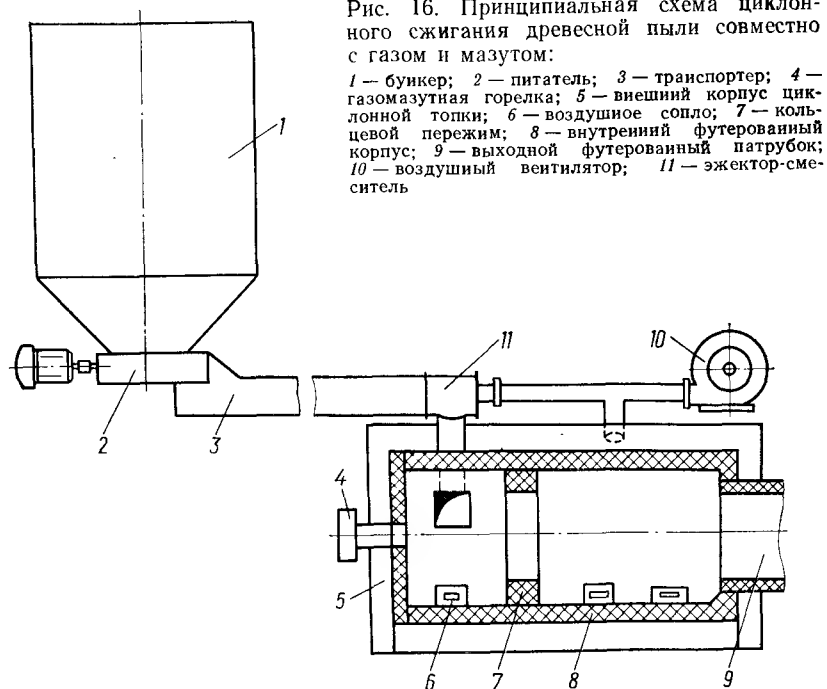


Рис. 16. Принципиальная схема циклонного сжигания древесной пыли совместно с газом и мазутом:

1 — бункер; 2 — питатель; 3 — транспортер; 4 — газомазутная горелка; 5 — внешний корпус циклонной топки; 6 — воздушное сопло; 7 — кольцевой пережим; 8 — внутренний футерованный корпус; 9 — выходной футерованный патрубок; 10 — воздушный вентилятор; 11 — эжектор-смеситель

Весьма важным элементом в циклонном устройстве следует считать обмуровку камеры, которая работает в весьма тяжелых высокотемпературных условиях. Имеющийся опыт работы подобных устройств показывает, что применяемый обмуровочный материал в кратчайшее время выходит из строя, вызывая длительные остановки котлоагрегата.

## 6.3. РАСЧЕТ ЦИКЛОННОГО ТОПОЧНОГО УСТРОЙСТВА

Методика расчета топочного устройства циклонного типа аналогична методике расчета слоевой топки, приведенной в п. 4.4. Циклонные топочные устройства в соответствии с их принципиальными особенностями позволяют реализовать весьма высокие теплонапряжения топочного объема, а следовательно, уменьшить материалоемкость топочных устройств и сократить потери в окружающую среду. В связи с этим изучение процесса, протекающего в циклонной камере горения при сжигании древесной биомассы, и установление закономерностей всех отдельных составляющих его явлений представляет большую и практически очень важную задачу. Решение ее, однако, наталкивается на ряд трудностей, обусловленных тем, что процесс горе-

ния твердого топлива в циклонной камере состоит из сложного комплекса явлений: движения двухфазной системы, тепло- и массообмена, горения в объеме камеры и на поверхности ее стенок. При этом каждое из явлений находится в сложной зависимости от других, обусловлено ими и, в свою очередь, оказывает на них большее или меньшее влияние. Полное решение задачи о горении в циклоне может быть достигнуто лишь при совместном, комплексном рассмотрении всех явлений и уравнений их описывающих и учитывающих все влияющие на процесс в целом факторы. Даже простое перечисление уравнений процесса (движения дисперсных твердых частиц, движения несущей газовой среды, теплообмена частицы со средой и среды со стенками камеры, горения частицы в период движения в объеме и после сепарации на стенку) без раскрытия содержания описываемых ими явлений свидетельствует о необычной сложности и громоздкости задачи.

Как известно, даже для обычных циклонных пылеуловителей, в которых весь процесс сводится к определению криволинейного движения изотермического двухфазного потока с дисперсными частицами постоянной массы, задача о таком движении при больших значениях критерия Рейнольдса не может быть полностью решена. Поэтому вполне понятны трудности, возникающие при полном описании системой уравнений циклонного процесса сжигания твердого топлива, где криволинейное движение двухфазного потока является лишь незначительной частью большого комплекса взаимосвязанных явлений.

Таким образом, практический ориентировочный расчет циклонных топочных устройств должен базироваться на результатах конкретных исследований, проведенных по каждому виду сжигаемого топлива. В качестве определяющего размера циклонной камеры принимается диаметр ее внутренней цилиндрической поверхности  $D_{\text{ц}}$ . Этот диаметр находится из следующих заданных при конструировании показателей циклонного топочного устройства:

номинальной производительности циклонной топки по расходу топлива  $B_{\text{ц}}$ , кг/ч;

теплоты сгорания топлива (низшей) на рабочую массу топлива  $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ , кДж/кг;

теплонпряжения поперечного сечения циклонной камеры  $R_{\text{F}}$ , кВт/м<sup>2</sup>.

Теплонпряжения сечения топочного объема  $R_{\text{F}}$  принимают в пределах 10 000...15 000 кВт/м<sup>2</sup>.

Внутреннее сечение циклонной камеры  $F_{\text{ц}}$  можно подсчитать по формуле

$$F_{\text{ц}} = B_{\text{ц}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} / 3600 R_{\text{F}}, \quad (6.1)$$

где  $F_{\text{ц}}$  — внутреннее сечение камеры циклона, м<sup>2</sup>.

Определяющий размер циклонного топочного устройства  $D_{\text{ц}}$  определяем по уравнению

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{F_{\text{ц}} / 0,785}. \quad (6.2)$$

Основные размеры и конфигурации камеры циклонного топочного устройства показаны на рис. 17.

Длина циклонной камеры  $L_{\text{ц}}$  в метрах определяется соотношением

$$L_{\text{ц}} = (1 \dots 2) D_{\text{ц}}. \quad (6.3)$$

При увеличении длины циклонной камеры возрастают потери на трение между несущей газовой средой и стенками камеры. Вследствие этого тангенциальная скорость вращающихся газов уменьшается по длине камеры по направлению к ее выходному концу. Следует иметь в виду, что рациональная конструкция циклонной камеры должна удовлетворять двум требованиям: иметь минимальное гидравлическое сопротивление и обеспечивать максимальное значение тангенциальной скорости вихревого движения газов на выходной стороне циклонного устройства.

Соотношение (6.3) подобрано таким образом, чтобы в условиях практики рациональность конструкции циклонного устройства была ориентировочно обеспечена, если это соотношение размеров камеры выдержано.

На аэродинамику циклонного потока не оказывает заметного влияния форма выходного конца циклонной камеры. В частности, применение плоского и встроенного конусного пережима (в виде конуса, сужающегося внутрь камеры, как это показано на рис. 17) дает практически одинаковые коэффициенты сопротивления циклонной камеры. Диаметр выходного отверстия циклонной камеры  $D_{\text{с}}$  существенно влияет на всю газодинамику устройства. Уменьшение параметра  $D_{\text{с}}/D_{\text{ц}}$  (см. рис. 17) приводит к росту тангенциальной скорости газового потока и к увеличению статического давления во всех сечениях циклонной камеры. Обычно для расчета диаметра  $D_{\text{с}}$  применяют формулу

$$D_{\text{с}} = (0,35 \dots 0,5) D_{\text{ц}}. \quad (6.4)$$

Воздух в камеру циклонной топки подводится тангенциально внутренней цилиндрической поверхности камеры на длине  $l$ .

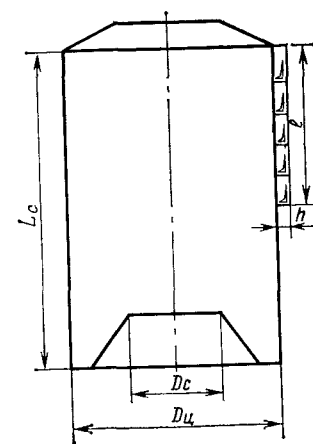


Рис. 17. Основные размеры камеры горения циклонного топочного устройства

Эта длина зависит от основного параметра топочного устройства и определяется по соотношению

$$l = 0,75D_{\text{ц}}. \quad (6.5)$$

Высота сопел  $h$  принимается такой, чтобы скорость воздуха в них была в пределах 130...150 м/с. Расчетный коэффициент избытка воздуха в циклонных топках принимают равным  $\alpha = 1,05 \dots 1,10$ .

## 7. СЖИГАНИЕ КОРЫ

### 7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Физические и механические свойства коры деревьев находятся в тесной связи со структурой древесины данной породы, влажностью, условиями произрастания деревьев, температурой окружающего воздуха и многими другими факторами.

По своей структуре кора представляет собой многослойный материал (снаружи дерева идет слой корки, под ней находится луб, с внутренней стороны к которому примыкает камбий). Толстые слои корки сосны и ели имеют сравнительно низкую механическую прочность. Корка лиственных пород (осины и березы) более прочна и служит более надежной защитой луба, камбия и древесины от внешних воздействий. Она малопроницаема для воды и газов, устойчива против химических реагентов.

Луб служит для проведения питательных веществ и состоит из большого количества капиллярных трубок. Он сравнительно легко отдает и поглощает воду.

Количество образующихся отходов окорки указано в п. 2.6. Общее количество этого вида древесных отходов в среднем составляет около 10 % объема стволовой древесины. Это столь существенная величина, что необходимо обеспечить в ближайшее время проведение научно-исследовательских работ, направленных на повышение эффективности использования коры как для технологических, так и для энергетических целей.

Однако использование на топливо древесной коры затрудняется рядом объективных обстоятельств, к которым следует отнести:

- высокую влажность коры в свежесрубленном состоянии;
- повышенную способность коры к водопоглощению;
- повышенное по сравнению со стволовой древесиной содержание золы;
- крайне широкие пределы изменения размеров частиц коры, отделенной в окорочных барабанах и окорочных станках;
- применение водных бассейнов для проведения сортировки пиловочника и его подготовки к окорке;

использование парового обогрева при окорке древесины окорочными барабанами в зимних условиях.

**Объемы образования коры.** Объемы образования коры определяют, исходя из годового плана окорки древесины по породам, и подсчитывают по формуле

$$V_k = 0,01 \sum n_i V_i,$$

где  $V_i$  — годовой объем окорки данной породы древесины по плану, пл. м<sup>3</sup>;  $n_i$  — средний процент содержания коры от объема окориваемого сырья, %.

Теплотехническая оценка коры как вторичного горючего энергетического ресурса в тоннах условного топлива производится по формуле

$$Q_k = 0,01 \sum n_i V_i \mathcal{E}_i,$$

где  $Q_k$  — ресурс коры, т усл. топлива;  $\mathcal{E}_i$  — калорийный эквивалент коры данной породы, определенный для конкретных условий работы окорочного цеха.

**Бункерные устройства для буферного хранения запасов коры.** Прежде чем приступить к проектированию строительства устройств для буферного хранения коры, следует тщательно изучить условия работы окорочного цеха и его технологию. При окорке сплавной древесины и в случае применения прогрева древесины паром перед окоркой, при барабанной окорке, а также в случае оттаивания коры в бассейне буферное хранение коры крайне затрудняется тем, что мокрая кора в зимний сезон смерзается на транспортерах, в бункерах, в кузовах автомашин. В этих условиях длительное хранение щепы в бункерных галереях и бункерах нецелесообразно. Желательно сразу же после накопления в бункере достаточного для полной загрузки автосамосвала объема щепы разгрузить бункер и отвезти смерзающуюся щепу на склад межсезонного хранения. Бункерное устройство при этом теряет в известной мере функцию хранения коры и служит только для накопления и механизации погрузки коры на автотранспорт.

В топочных устройствах слоевого типа успешно сжигаются древесные отходы размером по длине не более 100 мм. Более длинные частицы как бы связывают слой щепы в одно целое, лишают мелкое древесное топливо сыпучести. Ввиду этого наличие в топливе частиц по длине более 100 мм приводит к зависанию топлива в течках и топливных рукавах, способствует образованию прогаров слоя топлива, ухудшает условия схода топлива в зону горения.

Кора от окорочных станков содержит около 30 % частиц размером более 100 мм. При окорке короткомерных сортиментов в окорочных барабанах около 33 % частиц щепы имеет размер по длине более 100 мм. Исходя из этого, кору, как от окорочных барабанов, так и от окорочных станков, нужно перед

поступлением ее в топочные устройства измельчать. Степень измельчения отходов окорки зависит в общем от типа топочного устройства и принятой технологии сжигания. Однако затраты электроэнергии на измельчение коры должны быть минимальными.

## 7.2. ПОДГОТОВКА ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ К СЖИГАНИЮ

Для того чтобы эффективно использовать древесную кору в качестве котельно-печного топлива, необходимо разработать и провести ряд подготовительных мероприятий. К таким мероприятиям следует причислить следующие:

- определение объемов образования коры в производстве и их теплотехническая оценка как вторичных горючих энергетических ресурсов;

- проектирование и строительство бункерных устройств для хранения буферных запасов коры в окорочных цехах предприятий;

- определение потребных площадей межсезонного хранения древесной коры, проектирование и строительство склада для этой цели;

- разработка системы внутризаводского транспортирования коры;

- монтаж и освоение эксплуатации оборудования для измельчения коры и ее обезвоживания в случае, если влажность коры превышает 50 % отн.

Схемы бункерных устройств для мелкой древесины [46] приведены на рис. 18. Наилучшим вариантом схемы для бункеровки смерзающей в зимних условиях коры является вариант рис. 18, в. При этом варианте дно бункера образуют два пово-

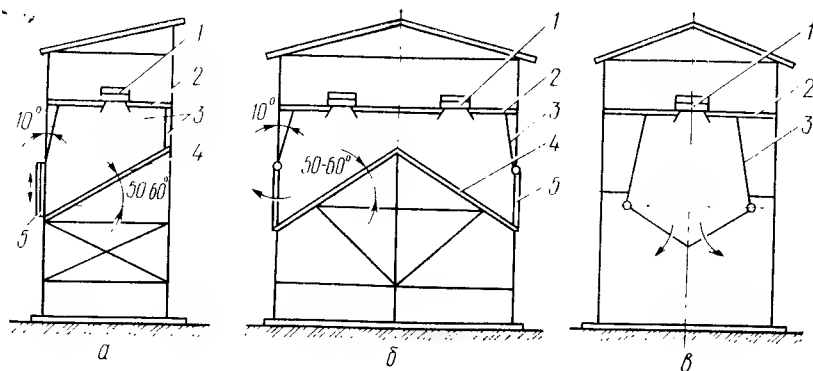


Рис. 18. Схемы бункерных устройств:

а — с односторонней боковой разгрузкой; б — с двусторонней боковой разгрузкой; в — с центральной разгрузкой; 1 — скребковые транспортеры; 2 — перекрытие; 3 — боковые стенки; 4 — основание (дно); 5 — затвор

ротных щита, а боковые стенки устроены с отрицательным углом наклона во избежание зажатия смерзшейся щепы в объеме бункера.

Щиты, образующие дно бункера, поворачиваются при помощи ручной лебедки или рычажной системы. Для накопления и буферного хранения коры, образующейся при сухой окорке и не смерзающей на морозе, применяются бункерные галереи с боковой разгрузкой (рис. 18, а и б).

Наклон дна этих галерей принимают в пределах от 50 до 60°. Высыпные люки устраиваются при этом во всю ширину дна бункера. Для побуждения разгрузки иногда на дно бункера устанавливают электровибраторы, включаемые только в момент опоражнивания бункера.

Объем бункера для смерзающей щепы обычно принимается несколько превышающим грузоподъемность применяемого для отвозки коры автосамосвала. Объем бункерной галереи для несмерзающей щепы рассчитывают, исходя из местных условий (вида применяемого транспорта, производительности окорочного оборудования, сменности его работы, расстояния вывозки и др.).

**Измельчение коры.** Измельчение коры необходимо для обеспечения надежного и устойчивого процесса ее сжигания. Кроме того, однородный фракционный состав коры требуется при транспортировании ее пневмотранспортными установками, а также при организации подсушки ее в устройствах с использованием процессов, предусматривающих взвешенное состояние частиц подсушиваемого материала.

Наименьшая степень измельчения коры требуется для сжигания ее слоевым способом. При слоевом сжигании необходимо только, чтобы размер кусков коры по длине не превышал 100 мм. Несколько более высокие требования к размерам частиц необходимо удовлетворять при сжигании и сушке коры во взвешенном состоянии.

Для измельчения коры применяются корорубки и молотковые мельницы. В молотковых мельницах измельчение происходит между шарнирно закрепленными билами и контрножами. Однако наибольшее распространение получили корорубки роторного типа. Конструктивно роторные корорубки подразделяются на однороторные и двухроторные. Как те, так и другие бывают с вертикальным и горизонтальным расположением роторов. На рис. 19 показаны принципиальные схемы работы корорубок роторного типа.

Однороторные корорубки с вертикально расположенным ротором рис. 19, а измельчают кору между жестко закрепленными на роторе ножами 1 и тремя эластично закрепленными на корпусе контрножами, расположенными относительно друг друга под углом 120°. Недостатком корорубок с вертикальным расположением ротора является затруднительность удаления измель-

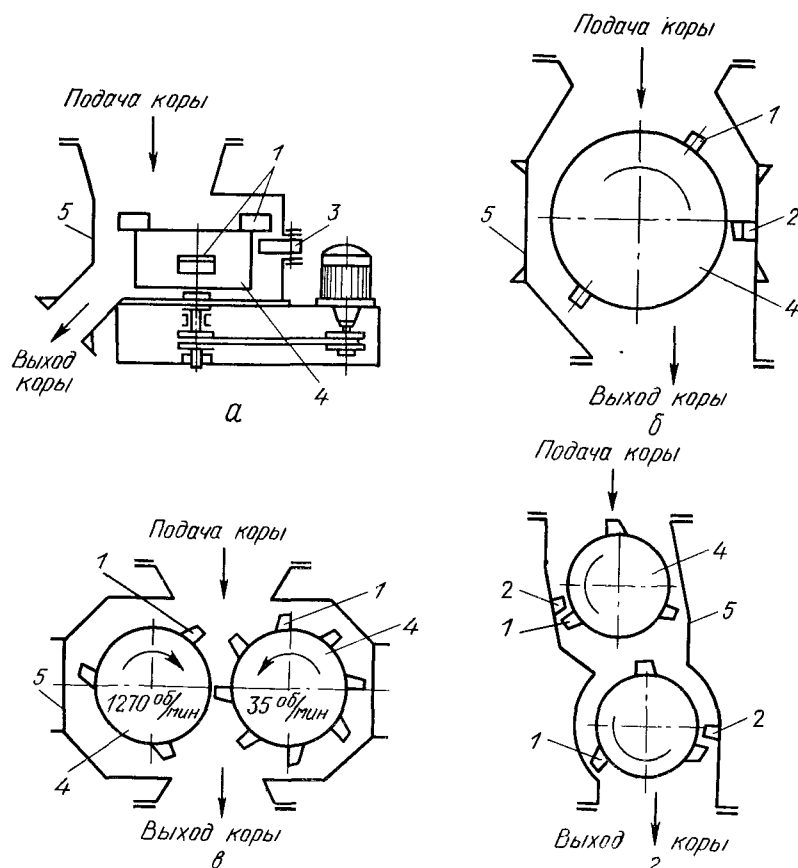


Рис. 19. Принципиальные схемы работы роторных корорубок:  
 а — однороторная корорубка с вертикально расположенным ротором; б — однороторная корорубка с горизонтально расположенным ротором; в — двухроторная корорубка с расположением роторов в горизонтальной плоскости; г — двухроторная корорубка с расположением ротора в вертикальной плоскости; 1 — нож, жестко закрепленный на роторе; 2 — контрнож, жестко закрепленный на корпусе; 3 — контрнож, эластично закрепленный на корпусе; 4 — ротор; 5 — корпус корорубки

ченной коры. Корорубки этого типа изготавливаются финской фирмой «Раума-Репола».

Наибольшее распространение как в Советском Союзе, так и за рубежом получили однороторные корорубки с горизонтальным ротором (рис. 19, б). В этих корорубках кора измельчается между ножами, закрепленными на роторе, и контрножом, скрепленным с корпусом. Ножи и контрнож закреплены жестко и действуют как пуансон и матрица. Однороторные корорубки с горизонтальным ротором просты по устройству, имеют высокую производительность, хорошую степень измельчения коры,

редкие случаи забивания корорубки корой, обеспечивают измельчение отщепа и небольших кусков древесины, попадающих с корой.

Ротор корорубки в некоторых конструкциях представляет собой барабан, на котором закреплены ножи, а в других состоит из вала с набором дисков, несущих ножи.

Из отечественных конструкций корорубок этого типа наиболее удачна корорубка КР-6, разработанная вологодским ГКТБ. Схема работы двухроторной корорубки с расположением роторов в горизонтальной плоскости показана на рис. 19, в. В ней кора измельчается ножами, жестко закрепленными на роторах, вращающихся навстречу друг другу с различной скоростью. На одном из роторов ножей больше в 3—4 раза, чем на другом. Данная схема принята при разработке финской корорубки РМВ-50МЗ фирмы «Вяртсаля» и отечественной Ц6-01. Опыт эксплуатации корорубок этого типа показал, что измельчение коры в них происходит менее надежно, с большими затратами энергии на измельчение коры по сравнению с однороторными корорубками. Конструктивное устройство корорубок этого типа отличается большей сложностью. Корорубки Ц6-01 не оправдали себя в эксплуатации, сняты с производства.

Схема работы двухроторных корорубок с расположением роторов один над другим показана на рис. 19, г. Корорубки этого типа представляют собой две однороторные корорубки, заключенные в одном корпусе, причем кора после измельчения ее ротором первой ступени попадает во вторую ступень. Дополнительное измельчение коры на роторе второй ступени достигается за счет уменьшения ширины ножа и увеличения количества ножей на диске. По этой схеме спроектирована отечественная корорубка КРН-2/25 и КРС-68.

В табл. 27 показаны технические характеристики наиболее распространенных корорубок роторного типа, как отечественных, так и зарубежного производства.

**Снижение влажности коры.** Приведенные выше данные показывают, что в случаях окорки древесины, поступившей сплавом, применения оттаивания древесины перед окоркой в бассейнах, а также применения парового обогрева при барабанной окорке древесины кора имеет влажность выше критической и перед поступлением такой коры в топку необходимо снизить ее относительную влажность до 60 %.

Снижение влажности коры осуществляется обычно либо посредством механического отжима влаги из коры, либо подсушиванием коры при помощи отходящих газов котельных, вентиляционными выбросами и другими низкопотенциальными вторичными тепловыми энергетическими ресурсами.

**Механическое обезвоживание коры.** Механическое обезвоживание коры осуществляется с помощью короотжимных прессов. По устройству короотжимные прессы подразделяются на валко-

| Наименование показателей        | СССР |          |         |          |          |      |                      |          |                      |                          | Финляндия            |                          | Швеция                         |                         | США                        |
|---------------------------------|------|----------|---------|----------|----------|------|----------------------|----------|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                                 | КР-6 | КР-02    | КРН-1/7 | КРН-1/15 | КРН-1/25 | КР-2 | ропор первой ступени | КРН-2 25 | ропор второй ступени | КР-1203 фирмы «Варселия» | ФР-012 фирмы «Рейма» | КР-500 фирмы «Розенберг» | ТР-70 и ТР-100 фирмы «Фрэнсон» | 650-А фирмы «Содерхамн» | Фирма «Джек-сон» Блок-Пайп |
| Производительность, т/ч         | 6    | 15       | 7       | 15       | 25       | 2    | 25                   | 25       | 25                   | 25                       | 25                   | 30                       | 20 и 30                        | 5                       | До 50                      |
| Число дисков                    | 17   | 9        | 9       | 20       | 33       | 15   | 33                   | 49       | 33                   | 33                       | 33                   | —                        | —                              | —                       | —                          |
| Диаметр окружности резания, мм: |      |          |         |          |          |      |                      |          |                      |                          |                      |                          |                                |                         |                            |
| большой                         | 540  | 320      | 600     | 600      | 600      | 320  | 600                  | 600      | 600                  | 600                      | 800                  | —                        | —                              | —                       | —                          |
| малый                           | 480  | 220      | 570     | 570      | 570      | 290  | 570                  | 570      | 570                  | 570                      | —                    | —                        | —                              | —                       | —                          |
| Размеры ножа, мм:               |      |          |         |          |          |      |                      |          |                      |                          |                      |                          |                                |                         |                            |
| ширина                          | 30   | 70       | 33      | 33       | 30       | 30   | 30                   | 30       | 30                   | 35                       | —                    | —                        | —                              | —                       | —                          |
| выступ                          | 40   | 50       | 44      | 44       | 38       | 44   | 36                   | 24       | 35                   | 35                       | —                    | —                        | —                              | —                       | —                          |
| Число ножей на диске:           |      |          |         |          |          |      |                      |          |                      |                          |                      |                          |                                |                         |                            |
| передний                        | 10   | 10       | 10      | 10       | 10       | 10   | 10                   | 10       | 10                   | 10                       | 3                    | 8                        | 2                              | —                       | 1                          |
| задний                          | 0    | 8        | 15      | 15       | 0        | 0    | 6                    | 6        | 6                    | 0                        | 5                    | 15                       | 0                              | —                       | 6                          |
| Частота вращения, об/мин        | 980  | 600—1000 | 1010    | 1010     | 1010     | 980  | 980                  | 980      | 980                  | 1020                     | —                    | 1240                     | 1000                           | 1200                    | 30                         |
| Мощность привода, кВт           | 40   | 75       | 40      | 50       | 75       | 20   | 75                   | 75       | 75                   | 75                       | 85                   | 22                       | 40 и 75                        | 25                      | 25—250                     |
| Масса, кг                       | 2400 | 1900     | —       | —        | 5800     | 500  | 830                  | —        | —                    | —                        | —                    | —                        | —                              | 920                     | 13 500                     |

вые, валковые со свободным кольцом, винтовые, цепные и поршневые.

Валковые короотжимные прессы представляют собой систему последовательно установленных цилиндрических валков, поверхность которых имеет острые грани. Приводные валки получают вращение от механического привода, и к ним при помощи гидравлических устройств прижимаются подвижные

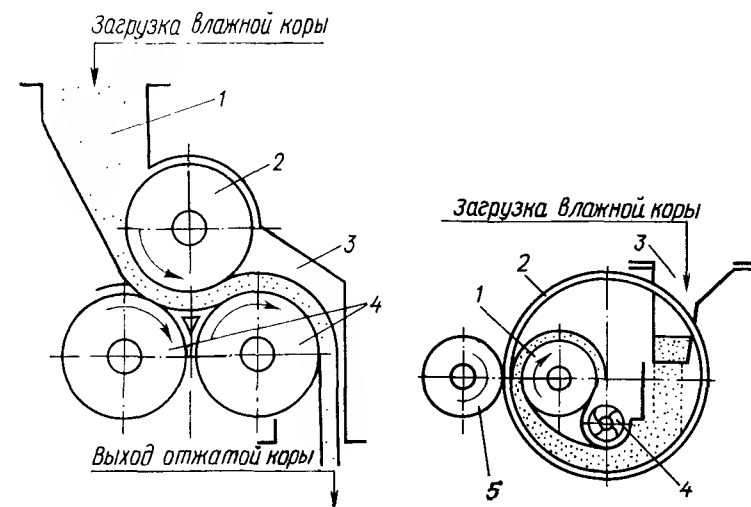


Рис. 20. Принципиальная схема валкового прессы:

1 — загрузочная воронка; 2 — приводной валок; 3 — корпус прессы; 4 — прижимные валки

Рис. 21. Принципиальная схема валкового прессы со свободным кольцом:

1 — приводной рабочий валок; 2 — свободное кольцо; 3 — загрузочная воронка; 4 — шинковый транспортер; 5 — прижимной валок

валки. Валки могут устанавливаться горизонтально или вертикально. Схема валкового прессы с горизонтальными валками изображена на рис. 20.

Кора, подаваемая между валками, отжимается и частично измельчается. Острые грани на поверхности валков способствуют лучшему отжиму воды и измельчению крупных кусков коры. Недостатками валковых прессов являются их большие габаритные размеры, малая производительность, повышенная металлоемкость и энергоемкость. Крупные куски древесины, которые попадают между валками вместе с корой, раздвигают валки, и часть коры проходит между ними без отжима. При вертикальном расположении валков кора отжимается только нижней частью валков, что приводит к неравномерному их износу по высоте.



Разновидностью валковых прессов является пресс со свободным кольцом, схема которого приведена на рис. 21. Основными рабочими элементами являются приводные рабочий и прижимный валки и свободно вращающийся, открытый с обеих торцов цилиндр (кольцо) шириной 1000 и диаметром 1524 мм, стенка которого с внутренней и наружной поверхности зажата между приводным и прижимным валками. Под действием сил трения кольцо приводится во вращательное движение. Кора поступает внутрь кольца из загрузочной воронки, расположенной с торца кольца, и проходит в зазор между свободным кольцом и

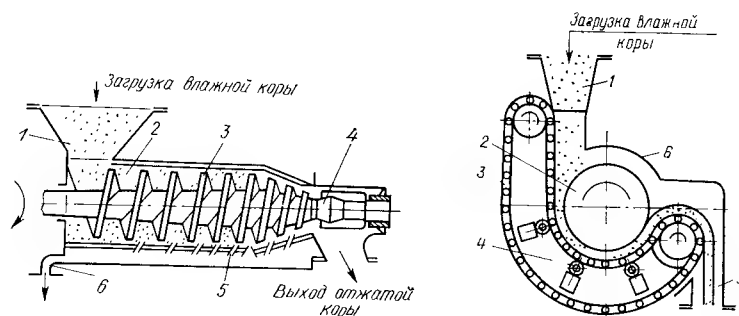


Рис. 22. Схема винтового короотжимного пресса:

1 — загрузочная воронка; 2 — корпус шнека; 3 — шнек; 4 — коническая втулка; 5 — отверстие для выхода воды; 6 — патрубок отвода влаги

Рис. 23. Схема цепного короотжимного пресса:

1 — загрузочная воронка; 2 — барабан; 3 — цепной пояс; 4 — прижимный валок; 5 — выгрузочная воронка; 6 — корпус пресса

рабочим валком. Обезвоженная кора скребками снимается с поверхности рабочего валка и попадает в желоб шнекового транспортера, проходящего внутри свободного кольца. Конструкция этого пресса позволяет прилагать большее давление, чем в валковом прессе, не нарушая процесса подачи коры. Несмотря на это, прессу со свободным кольцом присущи те же недостатки, что и простым валковым прессам.

Схема винтового короотжимного пресса показана на рис. 22. Кора загружается в воронку и подается внутри корпуса шнеком, имеющим переменный шаг, уменьшающийся к выходному концу шнека, а также переменный диаметр лопастей, тоже уменьшающийся по направлению выхода коры. При вращении шнека щепка проходит в сужающийся объем между витками и корпусом шнека, в результате чего ее объем уменьшается и происходит отжатие воды, которая через маленькие отверстия в корпусе шнека удаляется наружу. На выходном свободном конце шнека устанавливается коническая втулка, позволяющая регулировать давление, которое сжимает кору.

В цепных короотжимных прессах (рис. 23) основными рабочими органами являются цепной пояс 3, барабан 2, корпус 6. Кора через загрузочную воронку 1 поступает между барабаном 2 и цепным поясом 3. Цепной пояс прижимает кору к барабану, который вращается под действием сил трения между его поверхностью и корой. Кора перемещается вместе с цепным поясом, воспринимает давление, передаваемое тремя парами гидроцилиндров через три прижимных валка 4.

Давление, передаваемое на кору каждым последующим валком, больше давления передаваемого предыдущим. В зоне действия каждого прижимного валка кора испытывает давление, возрастающее по мере приближения ее к валку. По мере удаления от прижимного валка давление несколько снижается, таким образом силовое воздействие на слой коры имеет циклический характер.

Цепной пояс собирается из прочных стальных звеньев. Отжатая вода удаляется через свободные пространства между звеньями. Ижевским заводом тяжелого бумагоделательного оборудования изготавливаются цепные прессы ДО-318 и ДО-318М. Новозыбковский станкостроительный завод изготавливает прессы КП-6.

#### Техническая характеристика цепных прессов

| Модель пресса                                         | ДО-318 | ДО-318М | КП-6   |
|-------------------------------------------------------|--------|---------|--------|
| Производительность по коре, отжатой до 55% отн., кг/ч | 15 000 | 15 000  | 6 000  |
| Ширина цепного пояса, мм                              | 978    | 978     | 525    |
| Скорость движения цепного пояса, м/мин:               |        |         |        |
| максимальная                                          | 10     | 9       | 10     |
| минимальная                                           | 1      | 1       | 1      |
| Общее усилие, передаваемое прессом, т                 | 142    | 184     | 140,5  |
| Мощность, кВт                                         | 75     | 100     | 60     |
| Габаритные размеры, мм:                               |        |         |        |
| длина                                                 | 5 405  | 4 300   | 4 050  |
| ширина                                                | 2 250  | 4 700   | 5 000  |
| высота                                                | 4 200  | 3 200   | 3 477  |
| Масса, кг                                             | 42 950 | 36 750  | 23 000 |

Схема поршневого короотжимного пресса показана на рис. 24. Основными узлами пресса являются загрузочная воронка, станина, балка прессующая, толкатель, гидроцилиндры, гидростанция (на рисунке не показана). Кора через загрузочную воронку проходит к толкателю, который уплотняет ее и подает под прессующую балку. При достижении толкателем крайнего положения включается вертикальный гидроцилиндр. Он прижимает вниз прессующую балку, под действием которой вода выжимается из коры. После того как давление в вертикальном гидроцилиндре снимается, толкатель возвращается в исходное положение, а затем толкает

новую порцию коры и продвигает отжатую кору к разгрузочному окну. Длительность цикла не менее 12 с.

При испытаниях короотжимных прессов установлено, что обезвоживание коры методом чередования давления с паузами более эффективно, чем обезвоживание коры при непрерывном возрастании давления.

Большим недостатком обезвоживания коры с помощью короотжимных прессов является образование в процессе их работы сточных вод. Анализы сточной воды, отжимаемой из коры, показывают, что она не отвечает нормам, предъявляемым к воде, которую можно сбрасывать в открытые водоемы. Сброс воды от короотжимных прессов может быть разрешен

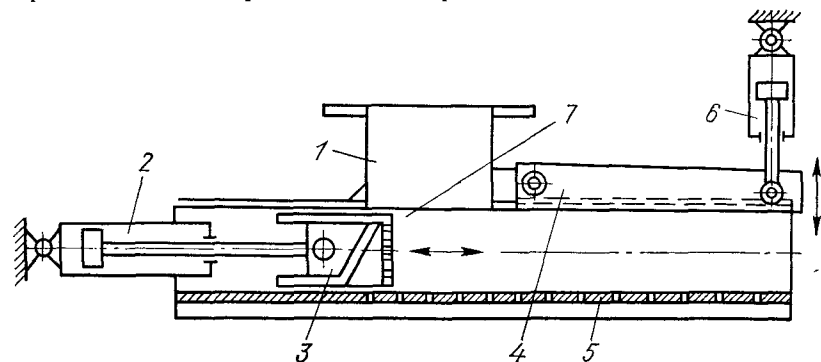


Рис. 24. Схема поршневого короотжимного пресса:

1 — загрузочная воронка; 2 — горизонтальный гидроцилиндр; 3 — толкатель; 4 — прессующая балка; 5 — решетка; 6 — вертикальный гидроцилиндр; 7 — станина

только после очистки их до норм, оговоренных правилами охраны окружающей среды.

Количество сточных вод при отжиме коры (по данным Ф. И. Зыкова) на четырехрамном лесопильном заводе с объемом лесопиления по сырью 200 тыс. м<sup>3</sup> составляет 8...11 м<sup>3</sup> в смену [15].

Проблема сброса сточных вод при отжиме коры прессами может быть решена различными путями.

1. Очистка сточных вод в специальных очистных сооружениях, как это предусмотрено в целлюлозно-бумажном производстве. Строительство таких сооружений в обычных условиях лесопильно-деревообрабатывающих и лесозаготовительных предприятий экономически не оправдано.

2. Испарение сточных вод естественным путем. При естественном испарении сточных вод, возможном в районах с теплым климатом, требуются большие площади под устройство испарительных водоемов сточных вод и происходит в какой-то мере загрязнение воздушной среды.

3. Переброска сточных вод на соседние предприятия, рас-

полагающие мощными очистными сооружениями (например, на крупные целлюлозно-бумажные комбинаты или лесопильно-деревообрабатывающие предприятия с цехами древесноволокнистых плит).

4. Замена процесса обезвоживания коры ее сушкой за счет вторичных тепловых энергетических ресурсов предприятий.

5. Сжигание высоковлажной коры совместно с другими видами топлива с высокой теплотой сгорания.

6. Переход на сухие способы окорки древесины.

**Предварительная подсушка высоковлажной коры.** Обезвоживание коры посредством короотжимных прессов может быть рекомендовано только там, где есть возможности очистки сточных вод, образующихся при этом процессе. Поэтому следует рассмотреть способы снижения влажности коры без образования сточных вод. Одним из таких способов является предварительная подсушка высоковлажной коры перед ее сжиганием. Высоковолажной корой в данном случае называют кору, относительная влажность которой превышает 60%.

Если влажность коры ниже, то ее можно эффективно сжигать в топках без предварительного обезвоживания или подсушки.

На подсушку коры потребуется сжечь часть подсушенной коры. Эту часть в процентах можно определить по формуле

$$b_n = \frac{2680 [(100 - W_n^p) - (100 - W^p)] \cdot 100}{Q_n^p (100 - W^p) \eta_c},$$

где  $W^p$  — относительная влажность коры после окорки, %;  $W_n^p$  — влажность коры после ее подсушки, % отн.;  $Q_n^p$  — теплота сгорания подсушенной коры, кДж/кг;  $\eta_c$  — КПД сушилки, в долях единицы;  $b_n$  — расход подсушенной коры на процесс сушки в процентах от массы подсушенной коры.

На рис. 25 показаны графики расхода топлива на подсушку в зависимости от влажности коры, поступающей из цеха окорки. На основании этих графиков можно определить,

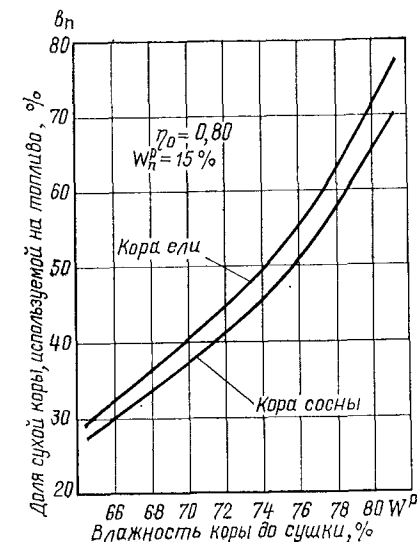


Рис. 25. Зависимость доли коры, сжигаемой для осуществления ее подсушки, от начальной влажности

что предварительная сушка за счет сжигания части подсушенной коры целесообразна только в том случае, если первоначальная влажность коры не превышает 70—75 % отн.

Следует при этом отметить, что при любой влажности первоначальной коры предварительная сушка ее перед сжиганием теплотехнически обоснована, если процесс осуществляется за счет вторичных тепловых ресурсов (тепла дымовых

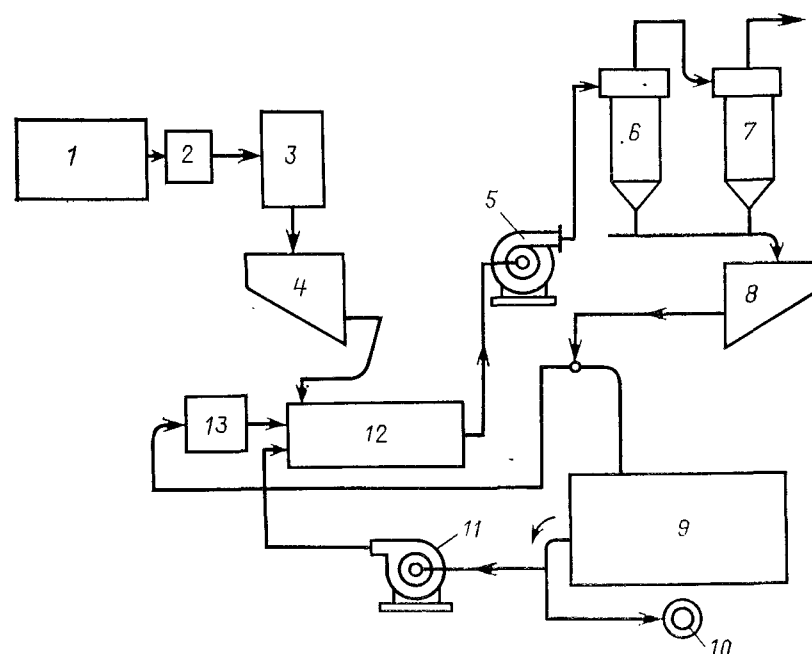


Рис. 26. Технологическая схема подготовки высоковлажной коры для сжигания

газов котельных и электростанций, тепла воздуха, выбрасываемого при вентиляции помещений и т. п.).

Для предварительной сушки коры можно применять сушилки различного типа. Примерная технологическая схема подготовки к сжиганию отходов окорочных цехов показана на рис. 26.

Кора высокой влажности из окорочного цеха 1 проходит магнитный сепаратор 2, где из нее извлекаются металлические частицы, и поступает в корорубку 3, где измельчается и направляется в бункерное устройство 4 для накопления и буферного хранения сырой измельченной коры. Из бункерного устройства 4 кора транспортируется в сушильную установку 12. Сушильная установка высушивает кору, используя

тепло либо дымовых газов, подаваемых в сушилку из бора котельной 9 вентилятором 11, либо продуктов сгорания определенной доли подсушенной коры, сжигаемой в топке 13. Подсушенная кора из сушилки 12 подхватывается сушильным агентом, засасываемым вентилятором 5, и подается в циклон 6, где она отделяется от газов и поступает в бункерное устройство 8 сухой щепы. Отработавшие газы очищаются от пыли в циклоне 7 и выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу 10. Из бункера 8 сухой коры она направляется для сжигания в топку котельной 9, и частично идет в топку 13, обеспечивающую приготовление теплоносителя для сушки коры в случае, если дымовые газы в этих целях по каким-либо обстоятельствам не могут быть использованы.

Важнейшей частью технологической схемы подготовки коры к сжиганию является сушильная установка. Для сушки измельченной коры применялись сушилки следующих типов: слоевая двухпоточная каскадно-лотковая; барабанная; пневматическая труба-сушилка с восходящим потоком; пневматические спиральные сушилки.

Двухпоточная каскадно-лотковая сушилка для коры СевНИИП—ЦКТИ была установлена на котле ДКВр-10 в котельной ЛДК им. В. И. Ленина (г. Архангельск). Она состояла из топливных рукавов плавных очертаний, смонтированных над топкой котла. Внутри рукавов устанавливались колосники для подвода и отвода дымовых газов, подсушивающих топливо в слое. Подсушенная кора опускалась в шахту топки скоростного горения котла и там сжигалась. Испытания сушилки показали возможность сжигания неотжатой и недробленной коры в смеси с опилками и кусковыми отходами в соотношении 1:1. Влажность топлива после сушилки была на 10—15 % ниже влажности сырого топлива.

Наиболее надежными и совершенными средствами сушки измельченной коры и древесины являются барабанные сушильные установки. При сушке высоковлажных коры и древесных отходов барабанные сушильные установки позволяют применять высокотемпературный теплоноситель, что обеспечивает высокую напряженность сушильного пространства и существенно повышает КПД сушки. Впервые высокотемпературный теплоноситель с температурой до 900°С применен при сушке измельченных отходов лесозаготовок на энергохимической установке Крестецкого леспромхоза. В настоящее время высокотемпературная сушка мелкой древесины с применением барабанных установок нашла широкое применение при производстве древесностружечных плит.

Однако барабанные сушильные установки не лишены недостатков, они имеют высокую металлоемкость, сложны по устройству, имеют тяжелые вращающиеся детали. Более простыми и менее металлоемкими являются пневматические

трубы-сушилки с восходящим потоком. Основная часть такой сушилки — вертикальная труба, в которой частицы подсушиваемого материала движутся в потоке нагретого газа-теплоносителя.

Трубы-сушилки имеют и существенный недостаток. Они работают надежно только при условии, что высушиваемый материал однороден по размерам частиц. Это значит, что для обеспечения надежной работы необходимо тщательное измельчение коры с дополнительным расходом для этого электрической энергии. Недостатком труб-сушилок являются их большой размер по высоте.

Для того чтобы избежать этого недостатка, труба-сушилка выполняется в виде спирали. На базе такой сушилки ЦНИИМОД совместно с ЦНИИФом разработали технологическую линию для подготовки к сжиганию высоковлажной коры. В этой линии отходы окорки с окорочной станции или из цеха подают через магнитный сепаратор в молотковую дробилку МК-5 или МК-10, где они измельчаются на частицы с эквивалентным диаметром 2...8 мм. Измельченная кора направляется в циклонно-спиральную сушилку. В качестве сушильного агента можно применять дымовые газы котельной или автономной топki, в которой сжигается часть подсушенной коры. Экономический эффект по данным ЦНИИМОД от сжигания 1 м<sup>3</sup> коры составляет 1 р. 40 к.

#### Технико-экономическая характеристика линии ЦНИИМОД для подготовки коры к сжиганию

|                                                       |        |
|-------------------------------------------------------|--------|
| Производительность по подсушенной коре, т усл. топл/ч | 0,34   |
| Относительная влажность коры, %:                      |        |
| до сушки                                              | 70     |
| после сушки                                           | 40     |
| Температура топочных газов, °С:                       |        |
| на входе в сушилку                                    | 300    |
| на выходе из сушилки                                  | 130    |
| Теплота сгорания подсушенной коры, кДж/кг             | 10 000 |
| Удельный расход на 1 т усл. топлива:                  |        |
| электроэнергии, кВт·ч                                 | 235,3  |
| теплоты, Гкал                                         | 1,76   |
| Стоимость дробления и подсушки, р/т усл. топлива      | 14,89  |

### 7.3. ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ

Отличительные особенности процесса горения древесной коры по сравнению с древесиной обусловлены ее специфическими свойствами:

высокой влажностью, доходящей в некоторых случаях до 80—84% отн.;

повышенной зольностью, составляющей в производственных условиях не менее 5%;

наличием в коре после ее отделения от стволовой древесины кусков, длина которых значительно превышает 100 мм.

Если в процессе производства при применении сухой окорки влажность коры не превышает 60% отн., а размеры кусков не превосходят 100 мм, то эту кору можно успешно сжигать в слоевых топочных устройствах, предназначенных для сжигания топливной щепы. Однако при этом желательно использовать топочные устройства, имеющие механизированное золо- и шлакоудаление. В настоящее время кора сжигается на многих целлюлозно-бумажных комбинатах в топочных устройствах трех типов:

в слоевых топках с наклонными колосниковыми решетками;

в скоростных топках с обращенным дутьем системы В. В. Померанцева;

в топках многотопливных котлоагрегатов Е-75-40КМ Белгородского котлостроительного завода.

На ТЭЦ-2 Котласского целлюлозно-бумажного комбината работают с 1964 г. два котла фирмы «Тампелла-Карлсон», топki которых рассчитаны на совместное сжигание древесной коры и каменного угля. Номинальная производительность каждого котла 30 т пара в час при давлении пара 4 МПа и температуре его 450°С. Температура питательной воды 145°С. Экранированная топка имеет объем 170 м<sup>3</sup>. Площадь экранов труб 415 м<sup>2</sup>. Котел оборудован пароперегревателем с поверхностью нагрева 380 м<sup>2</sup> и водным экономайзером с поверхностью нагрева 165 м<sup>2</sup>.

С фронта котла на трубах фронтального экрана установлены чугунные колосники, образующие наклонную колосниковую решетку с площадью 31 м<sup>2</sup>. Кора поступает на эту колосниковую решетку по течкам, оборудованными мигалками. Под колосниковую решетку подается из воздухоподогревателя воздух, нагретый до температуры 300...320°С. Напор воздуха 300...400 Па.

Каменный уголь сжигается в этой топке в виде каменноугольной пыли. Для измельчения угля в пыль предусмотрена установка двух вальцово-кольцевых мельниц производительностью 3 т/ч каждая. На боковых стенках котла расположены пылеугольные горелки для сжигания пыли.

Сжигание каменного угля производится при поступлении в топку коры с относительной влажностью, превышающей 60%, или в случае перебоев с поступлением коры. Зола и шлак с наклонной решетки удаляются вручную.

Длительная эксплуатация этих котлов позволяет дать возможность заключить, что топочное устройство позволяло устойчиво сжигать кору с относительной влажностью до 55—57% без подачи каменного угля. Производительность при этом составляла 62—66% номинальной. При увеличении

влажности до 60% и более было необходимо производить дополнительно сжигание каменного угля или мазута. В нижней части наклонной решетки отмечалось ее зашлаковывание. Потери с механическим недожегом достигали 18—20%.

На Архангельском целлюлозно-бумажном комбинате были проведены испытания скоростной топki с обращенным дутьем системы В. В. Померанцева (рис. 27) на котле с номинальной

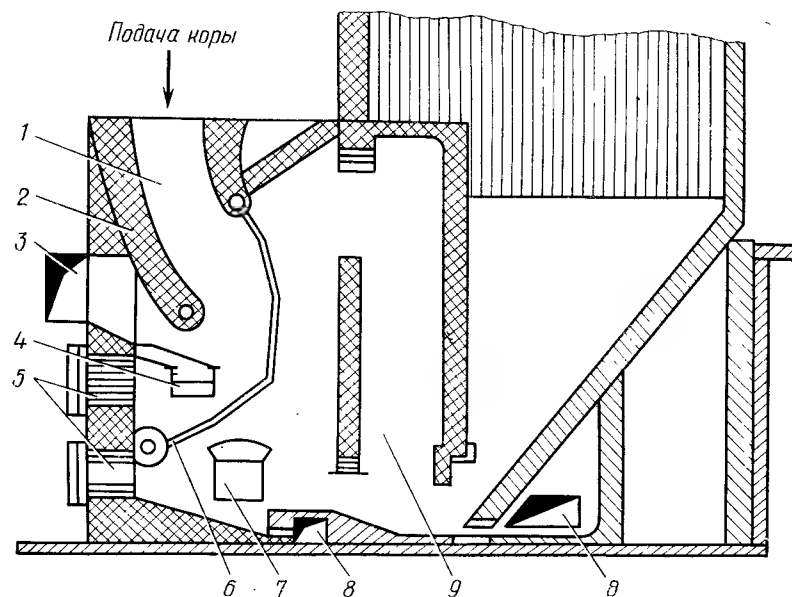


Рис. 27. Топка скоростного горения СевНИИП — ЦКТИ с обращенным дутьем:

1 — предтопок; 2 — верхний пережим; 3 — подвод воздушного дутья; 4 — нижний пережим; 5 — люки; 6 — зажимающая решетка; 7 — люк для уборки золы и шлака; 8 — подвод вторичного дутья; 9 — топочная камера

производительностью 40 т пара в час. Особенность устройства этой топki состояла в том, что зажимающая решетка 6 в нижней ее части была как бы загнута к фронтальной стенке топki и слой мелкого топлива располагался по всей ее длине. Первичный воздух при этом проходил на нижней части зажимающей решетки сверху вниз, в чем и состояла сущность «обращенного дутья». Шлак на зажимающей решетке не образовывался, так как вместе с продуктами сгорания выдувался между трубками в виде мелких капелек на под топочной камеры. Это позволяло сжигать кору с повышенным содержанием минеральных включений. В топке проводилось сжигание смеси щепы с высоковлажной корой, доля которой в смеси составляла 20...25%. Производительность котла на таком

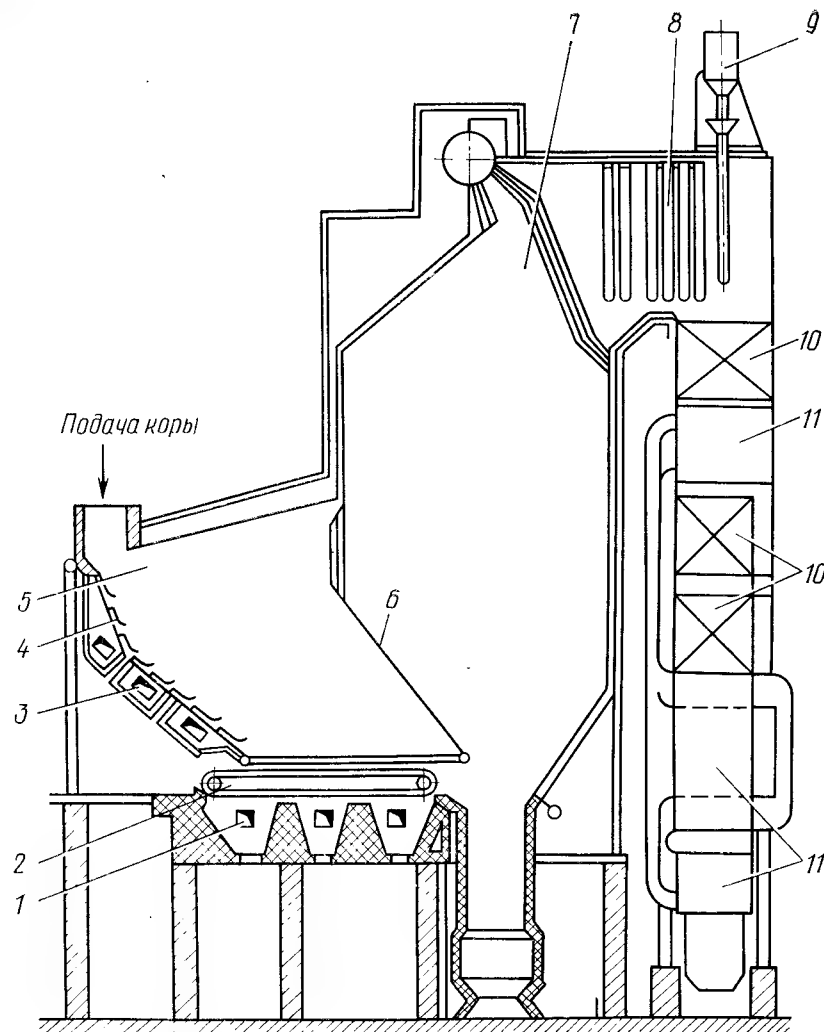


Рис. 28. Многотопливный котлоагрегат Е-75-40КМ (КМ-75-40):

1 — подвод первичного воздуха под цепную решетку; 2 — цепная механизированная решетка прямого хода ТЧ-3.07/56; 3 — подвод первичного воздуха под наклонную решетку; 4 — наклонная колосниковая решетка; 5 — предтопок; 6 — разделительный экран; 7 — основная топочная камера; 8 — пароперегреватель; 9 — дробеочистка; 10 — экономайзеры; 11 — воздухоподогреватели

топливе достигала 22...23 т пара в час. При этом была установлена возможность устойчивого сжигания высоковлажной коры в смеси с мелким древесным топливом при условии, что средняя относительная влажность смеси не превышает 55—60%.

НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова совместно с Белгородским котлостроительным заводом разработал котлоагрегат Е-75-40КМ. Котлоагрегат Е-75-40КМ (рис. 28) предназначен для получения насыщенного или перегретого пара для технологических и отопительно-вентиляционных нужд.

Котел относится к типу многотопливных и может работать на следующих топливах: древесной коре, древесных отходах, каменном угле, мазуте, природном газе, а также на сочетании топлива: кора — мазут, кора — природный газ, кора — каменный уголь.

Топочная камера котла объемом 680 м<sup>3</sup> разделена на предтопок 5 и основную топочную камеру 7 с разделительным экраном 6. Предтопок 5 оборудован с фронта наклонной колосниковой решеткой 4, на которую подается из точки древесная кора. На этой решетке кора подсушивается, загорается и частично сгорает. В нижней части предтопка расположены две цепные механические решетки типа ТЧ-3,07/56 3, на которых происходит дожигание коры, поступающей на них самоотекотом с наклонной колосниковой решетки 4. Предтопок снабжен двумя мазутными подсвечивающими горелками.

Основная топочная камера котла оборудована четырьмя газомазутными горелками, расположенными по две на боковых стенках. Котел снабжен пароперегревателем, экономайзером и воздухоподогревателем. Воздух под наклонную колосниковую решетку подается с температурой до 300...400°С, а под цепную решетку не более 250°С.

#### Техническая характеристика котлоагрегата

|                                                                |                                                      |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Марка котлоагрегата                                            | Е-75-40КМ (КМ-75-40)                                 |
| Вид топлива                                                    | древесная кора, мазут, природный газ, каменный уголь |
| Паропроизводительность, т/ч:                                   |                                                      |
| на одной коре ( $W_P = 60\%$ )                                 | 50                                                   |
| на коре с подсветкой мазутом                                   | 75                                                   |
| Давление пара на выходе из котла, МПа                          | 4,0                                                  |
| Температура, °С:                                               |                                                      |
| питательной воды                                               | 145                                                  |
| перегретого пара                                               | 440                                                  |
| уходящих газов                                                 | 197                                                  |
| КПД (брутто), %                                                | 80,2                                                 |
| Габаритные размеры, мм:                                        |                                                      |
| верхняя отметка                                                | 20 000                                               |
| ширина по осям колонн                                          | 7 420                                                |
| глубина по осям колонн                                         | 17 755                                               |
| Масса металлической части котла в объеме заводской поставки, т | 410                                                  |

Котлоагрегат снабжен системой дробоочистки. Он поставляется крупными транспортабельными блоками.

## 8. КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩИЕ НА ДРЕВЕСНОМ ТОПЛИВЕ

### 8.1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПАРОВЫХ КОТЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Выпускаемые в настоящее время отечественной промышленностью паровые котлы, применяемые в лесной промышленности, делятся на вертикально-водотрубные (с развитой экранной поверхностью нагрева) и вертикально-цилиндрические.

Основными особенностями современных котельных агрегатов являются широкая унификация по топливу и конструктивная блочность узлов и элементов, а также плотное экранирование топочной камеры и применение облегченной обмуровки. Унификация по топливу позволяет на заводах котлостроения применять типовую технологию изготовления стандартных основных узлов и деталей, внедрять в производство новое, прогрессивное оборудование, понижать себестоимость котлоагрегата, сокращать затраты труда и т. д. Унификация котельных агрегатов облегчает и упрощает их эксплуатацию, повышает надежность и экономичность работы, а блочная конструкция дает возможность значительно сократить сроки и стоимость монтажа и повысить его качество.

**Вертикально-водотрубные котельные агрегаты.** Эти котлоагрегаты выпускаются промышленностью в большом ассортименте и различны по конструкции, паропроизводительности, параметрам пара и типоразмерам. Рассмотрим котельные агрегаты малой мощности Е-1/9-1; Е-1/9-1Г; Е-1/9-2Г; Е-1/9-2М.

Котлоагрегаты этого типа предназначены для выработки насыщенного водяного пара давлением до 0,9 МПа, номинальная паропроизводительность составляет 1 т/ч, влажность насыщенного пара не более 3%. Котлы вертикально-водотрубные, двухбарабанные, газоплотные с естественной циркуляцией. Котлоагрегаты Е-1/9 рассчитаны для работы на каменном угле, мазуте и на природном газе. В зависимости от вида сжигаемого топлива им присвоены индексы Г при работе на газе и М при работе на мазуте. Основное различие их состоит в топочных и горелочных устройствах.

Примерный расчетный расход топлива составляет: твердого 131,5 кг/ч, мазута 83 кг/ч и природного газа 90 м<sup>3</sup>/ч.

#### Техническая характеристика котлоагрегатов типа Е-1/9

| Тип котлоагрегата           | Е-1/9-1 | Е-1/9-1Г | Е-1/9-1М | Е-1/9-2Г | Е-1/9-2М |
|-----------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Паропроизводительность, т/ч | 1,0     | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      |
| Давление пара, МПа          | 0,9     | 0,9      | 0,9      | 0,9      | 0,9      |
| Топливо                     | Уголь   | Газ      | Мазут    | Газ      | Мазут    |

Продолжение

|                       |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| Масса, кг:            |      |      |      |      |      |
| котлоагрегата (общая) | 5139 | 5500 | 5240 | 4595 | 4540 |
| металла котла . . .   | 2377 | 2100 | 2100 | 3000 | 2900 |

Трубная система котла Е-1/9-1Г состоит (рис. 29): из верхнего и нижнего барабанов, размещенных на одной вертикальной плоскости и соединенных между собой пучком труб, образующих конвективную поверхность нагрева; из двух боковых топочных экранов, включенных в циркуляционный контур посредством двух верхних и двух нижних коллекторов, соединенных с барабанами; из одного потолочного экрана.

Характерная особенность циркуляционной схемы котла — отсутствие необогреваемых питательных и отводящих труб экранов. Верхние и нижние коллекторы каждого из боковых экранов размещены в одной плоскости, что позволяет сделать трубы боковых экранов прямыми. Для доступа к трубам боковых экранов верхние коллекторы имеют лючки. Доступ внутрь барабанов и к трубам конвективного пучка возможен через люки в торцах барабанов. Все присоединения труб к барабанам и коллекторам выполняются при помощи сварки.

Конвективная поверхность нагрева состоит из 11 рядов труб по 14 труб в каждом. Она разделена двумя вертикальными перегородками, назначение которых состоит в изменении направления движения потока газов с необходимыми скоростями для улучшения теплообмена.

Обмуровка котла облегченная, состоит из прилегающих к трубам легковесных огнеупорных плит или шамотного кирпича, покрытых газоплотнительной обмазкой. Обшивка выполнена из стальных листов, прикрепленных к каркасу котла.

Топочное устройство котла, работающего на твердом топливе, представляет собой ручную колосниковую решетку с опрокидывающимися колосниками. Воздух, необходимый для горения, подается дутьевым вентилятором типа ВД-2,7. Удаление дымовых газов из котла осуществляется дымососом типа Д-5,7. При сжигании мазута в котле Е-1/9-1М его топка оборудуется горелочным устройством АР-90 и комплектуется дымососом Д-3,5. Котел Е-1/9-2М работает без дымососа под наддувом, применяемое горелочное устройство — УР-90. При использовании в котле Е-1/9-1Г природного газа применяются газовые горелки типа Г-1, ОК и дымосос Р-3,5. Котел Е-1/9-2Г работает без дымососа с агрегатированным горелочным устройством АГТУ-1. Для питания котлов водой применяется питательный насос типа 2ПМ-1,6/20. В качестве резервного питательного устройства применяется инжектор № 5.

В верхней части обечайки верхнего барабана установлены два пружинных предохранительных клапана. Внутри верхнего барабана имеется сепарационное устройство для осушения пара и для ввода питательной воды. Котлоагрегаты этого

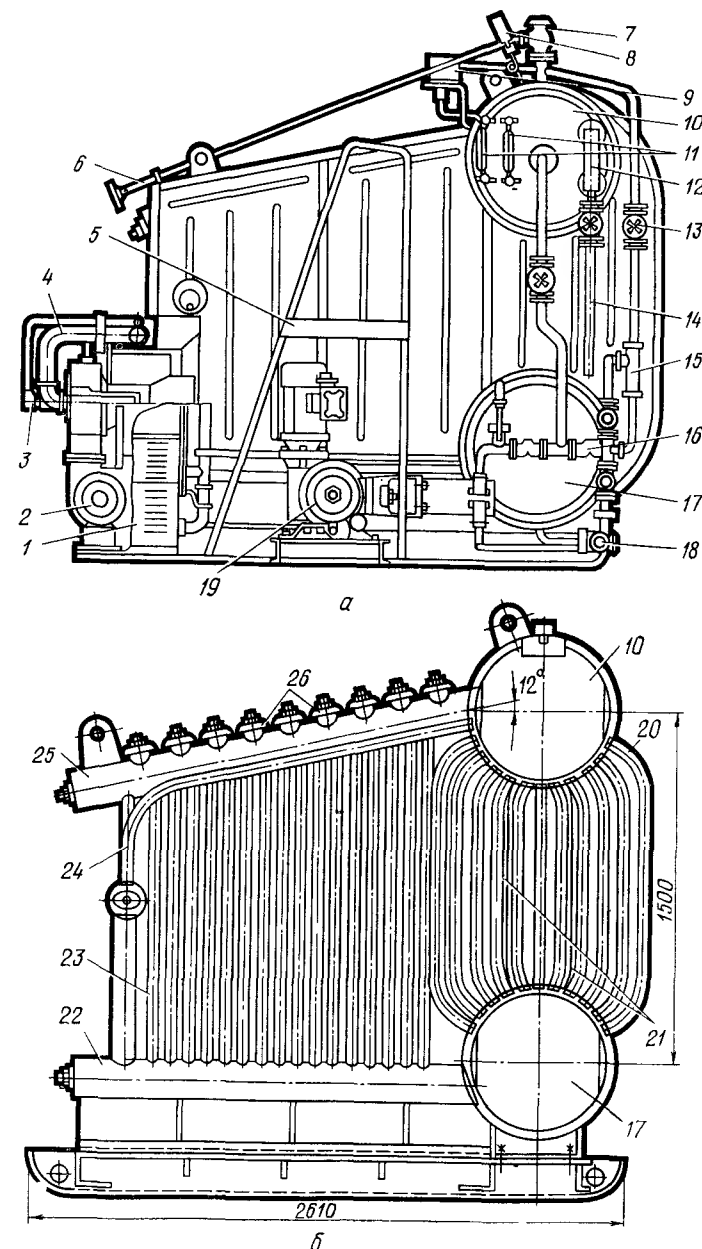


Рис. 29. Котельный агрегат типа Е-1/9-1Г:

а — общий вид; б — трубная система котла; 1 — блок управления; 2 — вентилятор; 3 — запальник; 4 — труба газовая; 5 — лестница; 6 — удлинитель; 7, 13 — вентили; 8 — манометр; 9 — датчик давления; 10 — верхний барабан; 11 — указатели уровня воды; 12 — уравниваемая колонка; 14 — труба; 15 — инжектор; 16 — клапан обратный; 17 — нижний барабан; 18 — вентиль продувочный; 19 — электронасос питательный; 20 — конвективный пучок; 21 — перегородка из жаростойкой стали; 22 — нижний коллектор бокового экрана; 23 — боковой экран; 24 — потолочный экран; 25 — верхний коллектор бокового экрана; 26 — лючки



типа, состоящие из трубной системы, обмуровки и изоляции, каркаса с обшивкой и топочного устройства, оборудуются необходимым комплектом контрольно-измерительных приборов и автоматики. Кроме того, комплектуются водоподготовительными установками ВПУ-1,0; ВПУ-1М и дымовой трубой.

**Котельные агрегаты типа ДКВр.** Основным, наиболее распространенным на предприятиях лесной промышленности типом парового котлоагрегата являются вертикально-водотрубные котлы ДКВр. Они выпускаются Бийским котельным заводом паропроизводительностью 2,5; 4; 6,5; 10 и 20 т/ч. Для отопительных и производственно-отопительных котельных изготавливаются котлы на рабочее давление 1,4 МПа для выработки насыщенного пара или, в случае необходимости, с пароперегревателем, обеспечивающим температуру перегрева пара 250°С.

Котлоагрегаты ДКВр-6,5 и ДКВр-20 изготавливаются также на давление 2,4 МПа, а ДКВр-10 — на 2,4 и 4 МПа с температурой перегрева пара до 400°С. В маркировке котла ДКВр после буквенной части первая цифра означает номинальную паропроизводительность котла (тонн пара в час), следующая цифра — избыточное (манометрическое) давление в атмосферах и третья цифра — температуру перегрева. Например, ДКВр-10-39-440 означает двухбарабанный вертикально-водотрубный, реконструированный котел паропроизводительностью 10 т/ч, на избыточное давление 3,9 МПа, с температурой перегрева 440°С.

Для лесной и деревообрабатывающей промышленности Бийский котельный завод поставлял паровые котлы типа ДКВр с топками НПО ЦКТИ системы В. В. Померанцева, которые эксплуатируются и будут еще длительное время использоваться в отрасли. Устройство котлоагрегата ДКВр-6,5-13 с такой топкой показано на рис. 30. Как видно из этого рисунка, котел ДКВр имеет двухбарабанный вертикально-водотрубный, реконструированный котел паропроизводительностью 10 т/ч, на избыточное давление 3,9 МПа, с температурой перегрева 440°С.

Для лесной и деревообрабатывающей промышленности Бийский котельный завод поставлял паровые котлы типа ДКВр с топками НПО ЦКТИ системы В. В. Померанцева, которые эксплуатируются и будут еще длительное время использоваться в отрасли. Устройство котлоагрегата ДКВр-6,5-13 с такой топкой показано на рис. 30. Как видно из этого рисунка, котел ДКВр имеет двухбарабанный вертикально-водотрубный, реконструированный котел паропроизводительностью 10 т/ч, на избыточное давление 3,9 МПа, с температурой перегрева 440°С.

чему устраняется возможность затягивания пламени в кипяtilьные трубы и улучшаются условия для догорания уноса. Между первым и вторым рядами труб кипяtilьного пучка установлена перегородка из шамотного кирпича, отделяющая пучок кипяtilьных труб от камеры догорания. Таким образом, первый ряд труб кипяtilьного пучка является задним экраном камеры догорания.

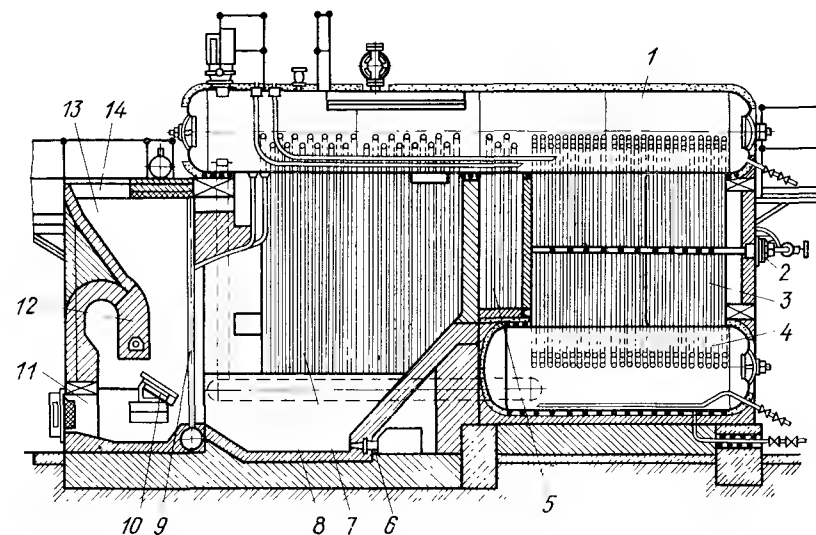


Рис. 30. Паровой котел ДКВр-6,5-13 с топкой НПО ЦКТИ системы В. В. Померанцева:

1 — верхний барабан; 2 — обдувочное устройство; 3 — конвективная поверхность нагрева; 4 — нижний барабан; 5 — камера догорания; 6 — сопла подвода вторичного воздуха; 7 — радиационная поверхность нагрева; 8 — топочная камера; 9 — трубная зажимающая решетка; 10 — нижний подвижный пережим; 11 — зольниковый люк; 12 — неподвижный пережим; 13 — предтопок; 14 — окно для подачи мелкого древесного топлива

Дымовые газы из топки выходят через особое окно, расположенное в правом ее углу, и поступают в камеру догорания. Пройдя последнюю справа налево, газы поступают в первый газопровод кипяtilьного пучка и далее во второй газопровод, омывая трубы поперечным горизонтальным потоком. Газы выходят из котла через окно, расположенное в левом углу задней стенки.

Котлоагрегаты ДКВр-10 и ДКВр-6,5 оборудованы топками В. В. Померанцева одинаковыми по размерам и устройству. Они имеют зажимающую решетку 9, выполненную из стальных труб диаметром 51 мм, нижний пережим 10, верхний пережим 12. Первичный воздух для горения топлива подводится под пережим 12, а вторичный воздух подается в топочную



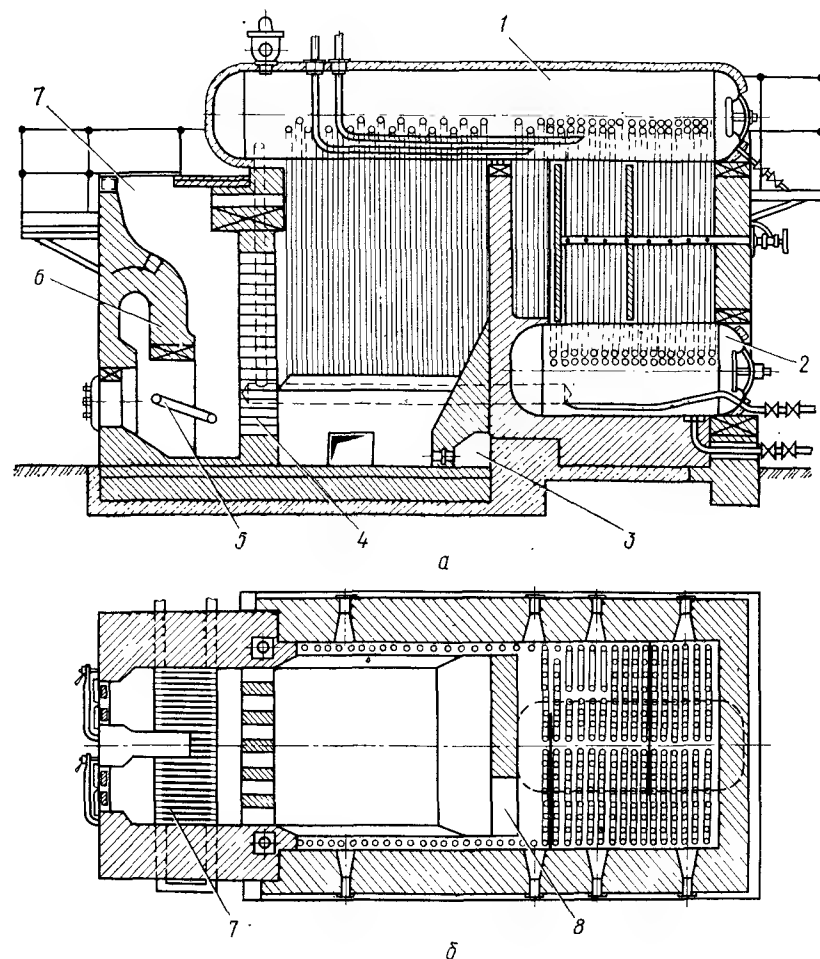


Рис. 31. Паровой котел ДКВр-4-13 с топкой НПО ЦКТИ системы В. В. Померанцева с кирпичной зажимающей решеткой:

а — продольный разрез; б — вид в плане; 1 — верхний барабан; 2 — нижний барабан; 3 — подвод вторичного воздуха; 4 — кирпичная зажимающая решетка; 5 — нижний пережим; 6 — верхний пережим; 7 — предтопок; 8 — окно для прохода продуктов горения в камеру догорания

камеру через сопла 6. Удаление золы и шлака осуществляется через люки 11.

Котлоагрегаты ДКВр-2,5 и ДКВр-4 оборудованы топкой В. В. Померанцева одной и той же конструкции и размеров. Однако в отличие от более мощных котлоагрегатов топки этих котлов имеют кирпичную зажимающую решетку.

Паровой котел ДКВр-4 с кирпичной зажимающей решеткой показан на рис. 31. Конструкция кирпичной зажимающей

решетки 4 ясно видна на рис. 31, б. На этом же рисунке показано окно 8, соединяющее топочную камеру с камерой догорания.

При необходимости сжигать в топках котлов ДКВр одновременно как мелкие, так и крупные кусковые древесные отходы и дрова к ним пристраиваются шахтные топки с наклонным слоем по разработкам местных проектных организаций. Устройство и принцип действия этих топок см. в гл. 4.

Для осушения пара в верхнем барабане котла устанавливаются сепарационные устройства. Питание котла осуществляется через верхний барабан, в водяном пространстве которого размещены одна питательная труба и штуцер непрерывной продувки. В нижний барабан введены дополнительно трубы для прогрева котла при растопке.

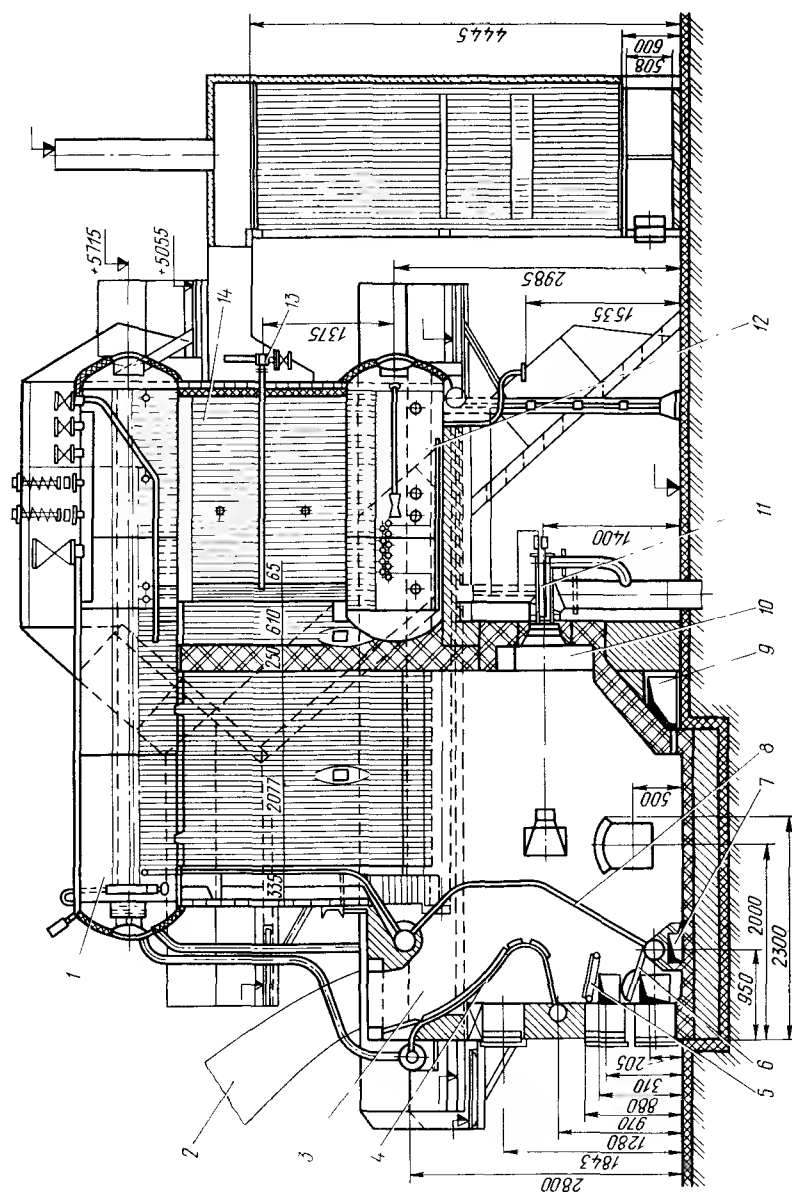
Для безопасной эксплуатации котлов ДКВр в верхних барабанах устанавливаются по две контрольные легкоплавкие пробки, которые при повышении температуры стенки барабанов до  $300^{\circ}\text{C}$  выплавляются и сигнализируют о недопустимом снижении уровня воды в барабане и необходимости немедленной остановки котла.

Котлы ДКВр оборудованы стационарным обдувочным устройством, предназначенным для очистки конвективных поверхностей нагрева. Частично при этом осуществляется обдувка поверхности нагрева пароперегревателя. Для обдувки используется перегретый или насыщенный пар давлением 1,4 МПа (см. рис. 30, 2).

Котлоагрегаты типа ДКВр, предназначенные для работы на влажном древесном топливе, должны комплектоваться в обязательном порядке воздухоподогревателями, поскольку сжигание такого топлива без подогрева воздуха крайне затруднено. Паровые котлы типа ДКВр используют в качестве питательной воды конденсат с добавлением химически очищенной воды. Коэффициент полезного действия котлоагрегата при номинальной нагрузке составляет не менее 75...80%.

Котлы ДКВр компоновались для других ведомств с различными топочными устройствами. Они выпускались для сжигания бурых и каменных углей, фрезерного торфа, мазута и газа. При выполнении ряда условий производительность котлов типа ДКВр, работающих на газе и мазуте, может быть повышена до 130...150 % производительности этих же котельных агрегатов, работающих на твердом топливе. Котлы ДКВр снабжаются необходимой арматурой — запорной, регулирующей и предохранительной; гарнитурой для обслуживания газоходов, а также необходимым комплектом контрольно-измерительных приборов и средствами автоматики.

**Котельные агрегаты типа Е (КЕ).** Двухбарабанные стационарные паровые котлы типа Е (КЕ) паропроизводительностью 2,5; 4; 6,5; 10 и 20 т/ч комплектуются слоевыми топками



с пневмомеханическими забрасывателями и решетками обратного хода для сжигания каменных и бурых углей и предназначены для производства пара, используемого на теплоснабжение систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения промышленных предприятий, жилых и общественных зданий, а также для производственного пароснабжения.

Топочные камеры образованы боковыми экранами, фронтальной и задними стенками, выполненными из огнеупорного кирпича. Продольно расположенные барабаны соединены развальцованными в них гнутыми трубами, образующими развитый котельный пучок. Между топкой и котельным пучком расположены камеры догорания. Дымовые газы омывают котельный пучок поперечным потоком, совершая повороты в горизонтальной плоскости. При наличии пароперегревателя часть кипящих труб не устанавливают. В качестве хвостовых поверхностей нагрева при сжигании каменных углей используют стандартные чугунные экономайзеры, а при сжигании бурых углей и древесных отходов — трубчатые воздухоподогреватели. Котлы КЕ паропроизводительностью до 10 т/ч поставляются одним транспортабельным блоком без обмуровки и обшивки, паропроизводительностью 20 т/ч — тремя транспортабельными блоками.

Многотопливные паровые котлы с топками для совместного или раздельного сжигания древесных отходов, газа или мазута созданы на базе серийных слоев котлов типа Е (КЕ). Рассмотрим для примера котлы КЕ-6,5-14МТ и КЕ-10-14МТ (рис. 32), относящиеся к котлам с естественной циркуляцией типа Е по ГОСТ 3619—82.

Типоразмеры многотопливных котлов и их основные технические характеристики приведены в табл. 28.

Боковые экраны и конвективные поверхности слоевых котлов оставлены без изменения. На многотопливных котлах дополнительно введен фронтальный экран. На фронтальной стороне котлов установлен предтопок 3 скоростного горения для сжигания древесных отходов. Зажимающая решетка 8 предтопка выполнена из труб диаметром 51×5, установленных с шагом 110 мм. К трубам зажимающей решетки 8 приварены шпильки диаметром 14 мм длиной 25 мм, расположенные в шахматном порядке.

Фронтальная наклонная стенка 4 предтопка выполнена из чугунных плит-колосников, установленных на трубах диаметром 51×5, включенных в циркуляцию котла. Под колосники

Рис. 32. Многотопливный котлоагрегат КЕ-6,5-14МТ:

1 — верхний барабан; 2 — топливный рукав; 3 — предтопок; 4 — фронтальная стенка с чугунными накладными колосниками; 5 — верхний ярус колосников; 6 — нижний ярус колосников; 7 — дополнительный подвод вторичного воздуха; 8 — трубная зажимающая решетка; 9 — подвод вторичного воздуха; 10 — амбразура газомазутной горелки; 11 — газомазутная горелка; 12 — нижний барабан; 13 — обдувочное устройство; 14 — конвективная поверхность нагрева

## 28. Характеристика многотопливных котлов

| Наименование                                      | Размерность | Величины параметров котлоагрегатов          |                                            |
|---------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                                   |             | Е-6,5-14<br>(обозначение по ГОСТ 3619 — 82) | Е-10-14<br>(обозначение по ГОСТ 3619 — 82) |
|                                                   |             | КЕ-6,5-14МТ<br>(заводское обозначение)      | КЕ-10-14МТ<br>(заводское обозначение)      |
| Паропроизводительность                            | т/ч         | 6,5                                         | 10                                         |
| Абсолютное давление пара                          | МПа         | 1,4                                         | 1,4                                        |
| Температура пара                                  | °С          | Насыщенный, перегретый 225                  | 225                                        |
| Температура питательной воды                      | °С          | 100                                         | 100                                        |
| Радиационная поверхность нагрева                  | м²          | 33,4                                        | 51                                         |
| Поверхность нагрева конвективного пучка           | м²          | 152,1                                       | 214                                        |
| Общая поверхность нагрева                         | м²          | 185,5                                       | 266                                        |
| Водяной объем котла                               | м³          | 7,17                                        | 10                                         |
| Паровой объем котла                               | м³          | 2,06                                        | 2,1                                        |
| Диаметр экранных и конвективных труб              | мм×мм       | 51×2,5                                      | 51×2,5                                     |
| Диаметр труб зажимающей решетки                   | мм×мм       | 51×5                                        | 51×5                                       |
| Шаг труб боковых экранов                          | мм          | 55                                          | 55                                         |
| Продольный шаг труб конвективного пучка           | мм          | 90                                          | 90                                         |
| Поперечный шаг труб конвективного пучка           | мм          | 110                                         | 110                                        |
| Габарит котла (без хвостовых поверхностей):       |             |                                             |                                            |
| длина (по каркасу)                                | мм          | 6 715                                       | 7 485                                      |
| ширина (по каркасу)                               | мм          | 2 780                                       | 3 440                                      |
| высота (до штуцера верхнего барабана)             | мм          | 6 300                                       | 6 300                                      |
| Масса котла в объеме заводской поставки, не более | кг          | 23 903                                      | 32 260                                     |

Примечание. Первое число после обозначения типа котла означает паропроизводительность, т/ч; второе — абсолютное давление пара, кгс/см²; буквы МТ — многотопливный.

подается нагретый до 200°С воздух, способствующий подготовке и розжигу топлива, в нижней части предтопка установлены два яруса колосников. Верхний ярус 5 выполняет роль «пережима», нижний 6 — «решетчатого дна». Под нижние колосники также подается горячий воздух.

Для сжигания жидкого или газообразного топлива в задней части топочной камеры под нижним барабаном котла устанавливается газомазутная горелка 11 типа ГМГ. Отметка оси нижнего барабана от пола котельной составляет 2965 мм для возможности установки и обслуживания газомазутной горелки.

В качестве хвостовой поверхности нагрева приняты трубчатые воздухоподогреватели, серийно выпускаемые Бийским котельным заводом, позволяющие нагревать дутьевой воздух до температуры 200...210°С. Для уменьшения уноса негоревших частиц древесины за воздухоподогревателем рекомендуется установка золоуловителя улиточного типа.

Многотопливные котлы поставляются потребителям тремя транспортабельными блоками (блок котла, предтопок скоростного горения и воздухоподогреватель) в собранном виде, с обязательным каркасом, без обмуровки.

Эти котлы могут работать только на одних древесных отходах. Решение о работе котлов только на древесных отходах принимается проектной организацией применительно к конкретному объекту. В случае решения проектной организации о необходимости работы котлов только на древесных отходах, горелочные устройства 11 допускается не устанавливать, а амбразура 10 закладывается огнеупорным кирпичом.

## 8.2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

По роду металла, из которого изготавливаются водогрейные котлы, они подразделяются на чугунные и стальные и характеризуются теплопроизводительностью, температурой и давлением горячей воды. Производительность водогрейных котлов выражают в мегаваттах (МВт). Водогрейные котлы широко применяются в леспромхозах в качестве основного источника тепла.

**Чугунные секционные котлы.** Широкое распространение в леспромхозах относительно небольших центральных систем водяного отопления вызвало необходимость применения специальных чугунных секционных водогрейных котлов, соответствующих по мощности системам отопления. Небольшой габарит этих котлов, малая стоимость, а также возможность достаточно точно подбирать требуемую поверхность нагрева способствовали их быстрому внедрению.

Чугунные водогрейные котлы изготавливаются в большом количестве на теплопроизводительность, не превышающую 1,163...1,745 МВт, для нагревания воды до температуры 115°С. Эти котлы монтируются по единому принципу (рис. 33): собираются из отдельных чугунных полых секций 4 различной формы, что позволяет, изменяя число секций, подбирать необходимую поверхность нагрева котла. Два собранных комплекта секций сверху и снизу сочленяются между собой специальными вкладышами — ниппелями 12 и 14, вставляемыми в ниппельные гнезда, и стягиваются потом стяжными болтами 5, а по концам замыкаются двумя лобовыми секци-

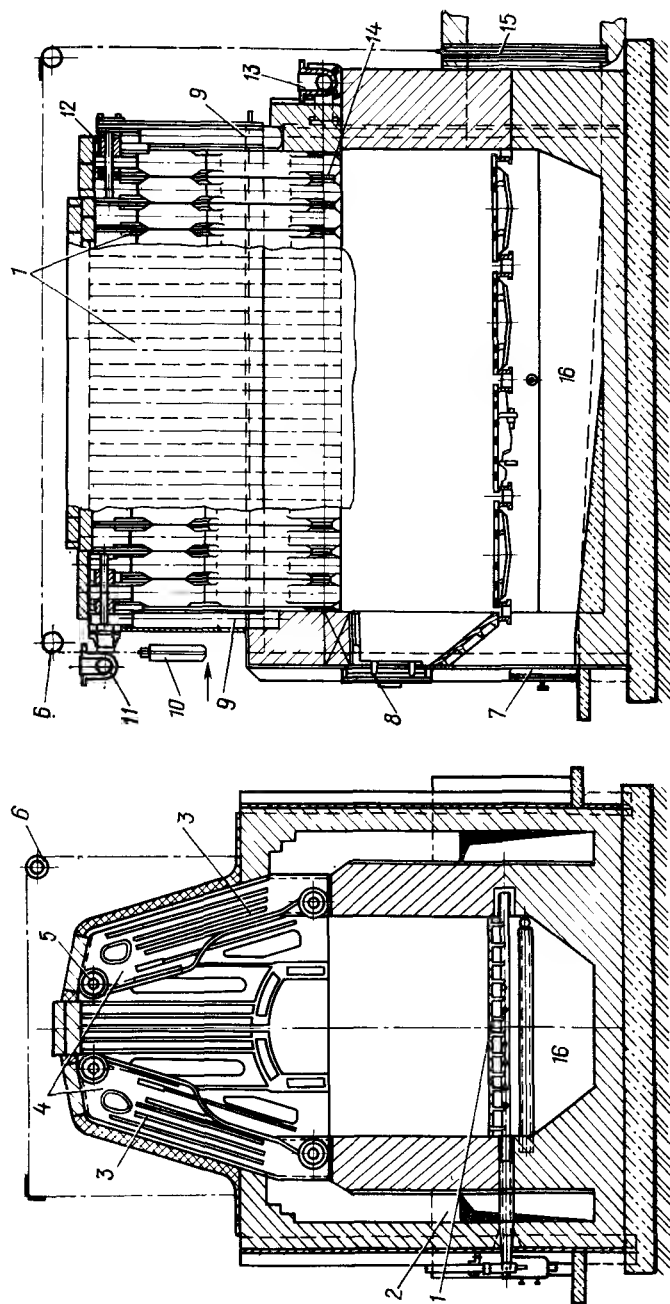


Рис. 33. Чугунный секционный водогрейный котел:  
1 — колосниковая решетка; 2 — газосход; 3 — приливы; 4 — чугунные полые секции; 5 — стяжной болт; 6 — блоки; 7 — дверка зольника;  
8 — загрузочная дверка; 9 — лобовые секции; 10 — трос с противовесом; 11 — верхний патрубок; 12, 14 — ниппели; 13 — нижний патрубок;  
15 — шибер; 16 — зольник

ями 9. Ниппели устанавливаются на графитной пасте с подмоткой (в зазоре между секциями) асбестового шнура, пропитанного суриком, замешанным на натуральной олифе. Зазор между секциями чугунных котлов допускается делать не более 2 мм.

При установке на месте эти секции образуют своего рода шатер, под которым размещается колосниковая решетка 1 (при сжигании твердого топлива) или газовые горелки. Для приспособления котлов к сжиганию дров увеличивают высоту топки, изменяя положение по высоте колосниковой решетки. Для сжигания влажных дробленых древесных отходов необходимо устанавливать дополнительно внешний предтопок.

Вода в котел поступает через нижний патрубок 13 и расходится по обоим комплектам секций. Пройдя параллельными потоками по верхним полостям секций, а также по лобовым секциям, она выходит через верхний патрубок 11. Топливо в топку забрасывают через загрузочную дверку 8, а воздух поступает под колосниковую решетку через дверку зольника 7, через нее же удаляются очаговые остатки из зольника. Дымовые газы из топки поднимаются вверх под потолок шатра, затем между секциями по параллельным каналам, образованным приливами 3 к секциям, опускаются и по газосходам 2 отводятся в дымовую трубу. Тяга регулируется шиберами 15, управление которыми выведено на фронт котла при помощи троса 10 с противовесом, проходящего через блоки 6. Теплопроизводительность чугунных секционных котлов определяется величиной поверхности нагрева, которую выражают в квадратных литрах ( $\text{м}^2$ ) или в условных квадратных метрах.

Чугунные секционные котлы могут быть использованы и в качестве паровых, но при избыточном давлении не выше 0,17 МПа. Для этого над котлами устанавливается паросборник, представляющий собой металлический барабан, внутри которого расположено водораспределительное устройство для подвода питательной воды. Паровой котел снабжается гидравлическим предохранительным устройством или специальным предохранительным клапаном.

В настоящее время проведена унификация чугунных водогрейных котлов в зависимости от расстояний между центрами ниппельных головок секций собранных котлов. Они изготовляются в трех исполнениях (табл. 29).

**Стальные водогрейные котлы.** В системах отопления с водяным теплоносителем генераторами тепла являются паровые подогреватели или водогрейные котлы, которые по сравнению с паровыми подогревателями дают более глубокий температурный перепад между нагревающим и нагреваемыми телами. При водогрейных котлах можно охлаждать уходящие газы до экономически наивыгоднейшей температуры без опасения вызвать закипание воды. Устанавливая водогрейные котлы

## 29. Чугунные водогрейные котлы

| Наименование показателей                         | Поверхность нагрева, м² |            |                  |
|--------------------------------------------------|-------------------------|------------|------------------|
|                                                  | 5,6; 8,4; 11,2; 14,0    | 15,4; 24,2 | 29,6; 42,0; 54,4 |
| Номинальная теплопроизводительность, МВт         | 0,09...0,23             | 0,23...0,7 | 0,58 и выше      |
| Расстояние между центрами ниппельных головок, мм | 890                     | 1100       | 1330             |

вместо паровых можно значительно упростить оборудование отопительной котельной.

Часто требуется тепло не только в виде горячей воды для отопления и вентиляции, но и в виде пара, идущего на цели производства. Тогда при желании воспользоваться для отопления и вентиляции водогрейными котлами приходится устанавливать в котельной два рода взаимно не заменяющих друг друга котлов и использовать два теплоносителя. Это часто вызывает необходимость иметь увеличенный резерв, а также осложняет обслуживание. Поэтому при проектировании укрупненных котельных, назначение которых — обслуживание отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и производственных нужд, внимательно анализируют, что в данном конкретном случае будет выгоднее: остановиться ли на двух теплоносителях или перейти к одному (пару или воде).

В настоящее время выпускаются промышленностью различные по конструкции стальные водогрейные котлы различной теплопроизводительности: 4,65; 7,56; 11,63; 23,26; 34,89; 58,15; 116,3; 209,3 МВт. Это разнообразие и многотипность вызвана хозяйственной необходимостью и различными тепловыми нагрузками.

Стальные водогрейные котлы большой производительности устанавливают в крупных квартальных или районных котельных, которые могут обеспечивать теплоснабжение жилых районов с населением от нескольких тысяч до нескольких десятков и даже сотен тысяч человек. Водогрейные котлы теплопроизводительностью 34,89 МВт и выше устанавливают и на ТЭЦ взамен пиковых подогревателей сетевой воды в случае необходимости ее дополнительного подогрева.

Котлы теплопроизводительностью до 23,26 МВт включительно служат для подогрева воды от 70 до 150°С, а 34,89 МВт и выше — от 70 до 200°С и предназначены для работы в котельной, а от 110 до 200°С — для работы в пиковом режиме на ТЭЦ. Для котлов теплопроизводительностью до 23,26 МВт включительно максимальное давление воды на входе принято 1,6 МПа, теплопроизводительностью от 34,89 МВт и выше — 2,5 МПа.

Все выпускаемые стальные водогрейные котлы для работы на жидком, газообразном и твердом топливе условно можно разделить на две серии: КВ и ПТВМ. Последние предназначены для работы только на жидком и газообразном топливе.

Котлам серии КВ в зависимости от вида и способа сжигаемого топлива присвоены типы КВ-ТС (слоевые), КВ-ТСВ (слоевые с воздухоподогревателем), КВ-ТК (камерные на твердое топливо), КВ-ГМ (газотопные). Теплопроизводительность унифицированных водогрейных котлов серий КВ-ТС, КВ-ТК и КВ-ГМ следующая:

| Котел серии . . . . .                    | КВ-ТС                              | КВ-ТК        | КВ-ГМ                                               |
|------------------------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------|
| Номинальная теплопроизводительность, МВт | 4,65; 7,56; 11,63;<br>23,26; 34,89 | 34,89; 58,15 | 4,65; 7,56; 11,63;<br>23,26; 34,89; 58,15;<br>116,3 |

В качестве примера компоновки указанных типов котлов рассмотрим водогрейные котлы типа КВ-ТС теплопроизводительностью 4,65 и 7,56 МВт.

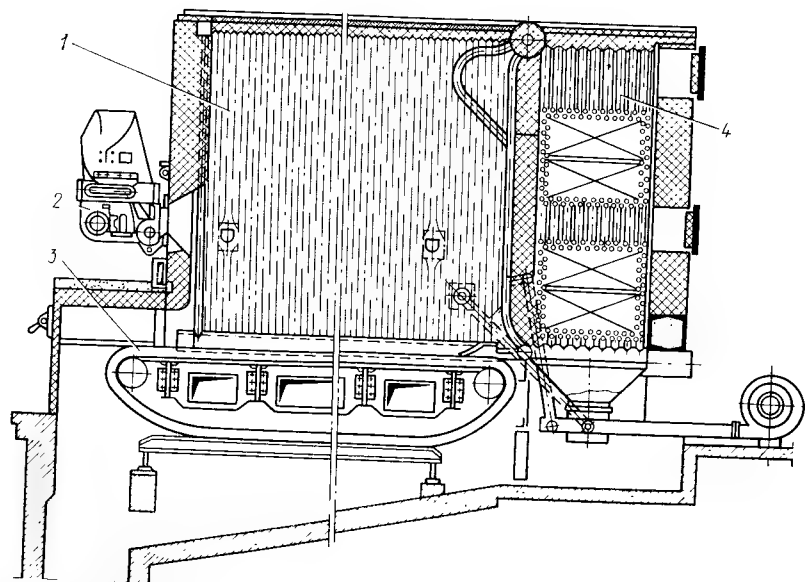
На рис. 34 представлен слоевой котел типа КВ-ТС. Котлы этого типа теплопроизводительностью 4,65 и 7,56 МВт различаются лишь глубиной топочной камеры и конвективной шахты. В котлах применены топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепными решетками типа ТЛЗ. Для слоевых котлов теплопроизводительностью 4,65 МВт установлена решетка типа 1,87/3, для котлов теплопроизводительностью 7,56 МВт — решетка типа 1,87/4. В котлах использовано устройство возврата уноса угольной мелочи и острое дутье. Угольная мелочь собирается в расположенном под конвективной шахтой зольном бункере, откуда удаляется системой возврата и сбрасывается в топку. Воздух на эжектор устройства возврата уноса подается вентилятором 19ЦС63. От этого же вентилятора подается воздух на острое дутье.

Трубная система этих котлов скомпонована в едином транспортабельном блоке. Трубная часть топочной камеры слоевых котлов состоит из заднего экрана (трубы диаметром 60 мм с толщиной стенки 3 мм установлены с шагом равным 85 мм) и экранной системы, образующей собственно топочную камеру, которая комплектуется из 50 % прямых труб со сгибом на одном конце и 50 % Г-образных труб. Фронтный экран у слоевых котлов отсутствует.

Конвективная поверхность нагрева рассматриваемого котла состоит из двух пакетов. Каждый пакет набирается из U-образных ширм, выполненных из труб диаметром 28 мм с толщиной стенки 3 мм. Ширмы пакетов расположены параллельно фронту котла и расставлены таким образом, что их трубы образуют шахматный пучок с шагами  $S_1=64$  мм и  $S_2=40$  мм. Боковые стенки конвективной шахты закрыты трубами диаметром 83 мм с толщиной стенки 3,5 мм, расположенными

Все трубы экранов независимо от типа котла сварены непосредственно в камеры диаметром 159 мм с толщиной стенки 7 мм.

Все типы этих котлов выполняются в облегченной обмуровке, которая крепится непосредственно к трубам. Общая



1 — радиационные поверхности нагрева; 2 — забрасыватель твердого топлива; 3 — цепная колосниковая решетка; 4 — коактивные поверхности нагрева

Водогрейные котлы ПТВМ-30М и ПТВМ-50 имеют теплопроизводительность соответственно 40,7...46,5 и 58,15 МВт, котлы ПТВМ-100 и ПТВМ-180 соответственно 116,3 и 209,3 МВт. Котлы поставляются крупными блоками, собираемыми заводом-изготовителем.

[illegible]

Рис. 35. Водогрейный котел типа МЗК-4Г, производительность 0,22 МВт

водогрейный котлоагрегат МЗК-4Г, предназначенный для выработки горячей воды температурой 75...90°С, используемой предприятиями коммунально-бытового обслуживания для технологических, хозяйственных и отопительных нужд.

## 9. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ НА ДРЕВЕСНОМ ТОПЛИВЕ

## 91. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА КОТЛОАГРЕГАТОВ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Вспомогательными поверхностями нагрева котлоагрегатов называют поверхности нагрева, обеспечивающие передачу тепла от дымовых газов для подогрева питательной воды, воз-

духа, подаваемого в топку для сжигания топлива, а также для перегрева насыщенного пара в случае необходимости повышения его параметров.

Аппараты для подогрева питательной воды за счет тепла отходящих дымовых газов называют **экономайзерами**.

Использование тепла отходящих дымовых газов для подогрева воздуха, поступающего в топку, осуществляется в **воздухоподогревателе**.

Устройство для перегрева пара выше температуры кипения при котловом давлении называют **пароперегревателем**.

Наличие у котлоагрегата экономайзера и воздухоподогревателя повышает его экономичность, т. е. снижает расход топлива на выработку единицы тепловой энергии. В практике эксплуатации установок поверхности нагрева экономайзеров и воздухоподогревателей называют **хвостовыми поверхностями нагрева**.

Подогрев питательной воды перед ее поступлением в котел уменьшает механические напряжения в стенках барабанов и труб, возникающие от изменения температуры при подаче в них холодной воды и удлиняет срок службы котла. Подогрев воздуха, поступающего в топку, интенсифицирует горение топлива, повышает эффективность работы радиационных поверхностей нагрева.

Пароперегреватель обеспечивает необходимое и обязательное во многих случаях качество пара.

Анализ существующего котельного парка на предприятиях отрасли показал, что температура уходящих газов за котлами колеблется в очень широких пределах (от 150 до 400°С и выше), хвостовые поверхности нагрева котлов во многих случаях отсутствуют. Поэтому потери тепла с уходящими газами являются большими и при сжигании высоковлажных древесных отходов могут достигать 20 % и выше.

Между тем экономия древесного топлива является актуальной для лесопромышленных предприятий, так как во многих случаях для энергетических нужд используется стволовая древесина, которая должна применяться в технологических целях.

Как указано выше, снижение потерь тепла с уходящими газами и повышение КПД котлоагрегата обеспечивается установкой хвостовых поверхностей нагрева: воздухоподогревателей или водяных экономайзеров.

Остановимся на описании некоторых элементов вспомогательных поверхностей нагрева.

**Экономайзеры.** Водяные экономайзеры изготавливаются двух типов: чугунные из ребристых труб и стальные гладкотрубные.

**Чугунные экономайзеры** собираются из чугунных ребристых труб и соединяются чугунными коленами (калачами) таким

образом, чтобы питательная вода, поданная в одну из крайних нижних труб экономайзера, затем через соединительные калачи могла последовательно проходить снизу вверх по всем трубам. Затем вода, подогретая до необходимой температуры, поступает в котел.

Чугунные ребристые трубы по краям имеют прямоугольные фланцы, которые одновременно составляют стенки, ограничивающие газоход. Чтобы предупредить присос воздуха, щели между фланцами уплотняют асбестовым шнуром, укладываемым в особые канавки, находящиеся во фланцах. Две другие стенки экономайзера оборудуются изоляцией с обшивкой или кирпичной кладкой, которая выполняется красным кирпичом, толщиной в полтора-два кирпича, с целью уменьшения присоса, поскольку в газоходах экономайзера создаются значительные разрежения. На рис. 36 показаны блочные чугунные экономайзеры.

Экономайзеры выпускаются отдельными блоками в облегченной обмуровке с металлической обшивкой. Они отличаются хорошей герметичностью. Блоки изготавливаются одноколонковые (рис. 37, а) и двухколонковые (рис. 37, б). Число труб в горизонтальном ряду (от 2 до 9) определяется из условий получения требуемой скорости движения дымовых газов, которая при нормальных условиях эксплуатации котлоагрегата должна быть равной: при сжигании газа и мазута 6...8 м/с; при сжигании твердого топлива 7...10 м/с. Число горизонтальных рядов определяется из условий получения требуемой поверхности нагрева экономайзера.

В двухколонковых экономайзерах между колонками устанавливается металлическая перегородка. В этом случае поток воды по выходе из группы экономайзера, находящейся в одном газоходе, идет в нижнюю часть экономайзера, расположенную в другом газоходе.

Дымовые газы в экономайзерах обычно направляются сверху вниз, т. е. навстречу движению воды, благодаря чему создается противоток, что обуславливает лучший теплообмен между газами и водой.

Поскольку водяной экономайзер, собираемый из ребристых труб, довольно быстро загрязняется золой и сажой, его необходимо периодически обдувать паром или сжатым воздухом, что применяют также при водогрейных котлах. С этой целью экономайзеры снабжаются стационарными аппаратами с одной или двумя обдувочными каретками. Сопловой аппарат обеспечивает эффективную очистку до четырех рядов труб по вертикали вверх и вниз.

Во избежание парообразования и гидравлических ударов конечная температура воды в чугунном отключаемом водяном экономайзере должна быть не менее чем на 40°С ниже температуры насыщенного пара в котле, а при наличии авто-



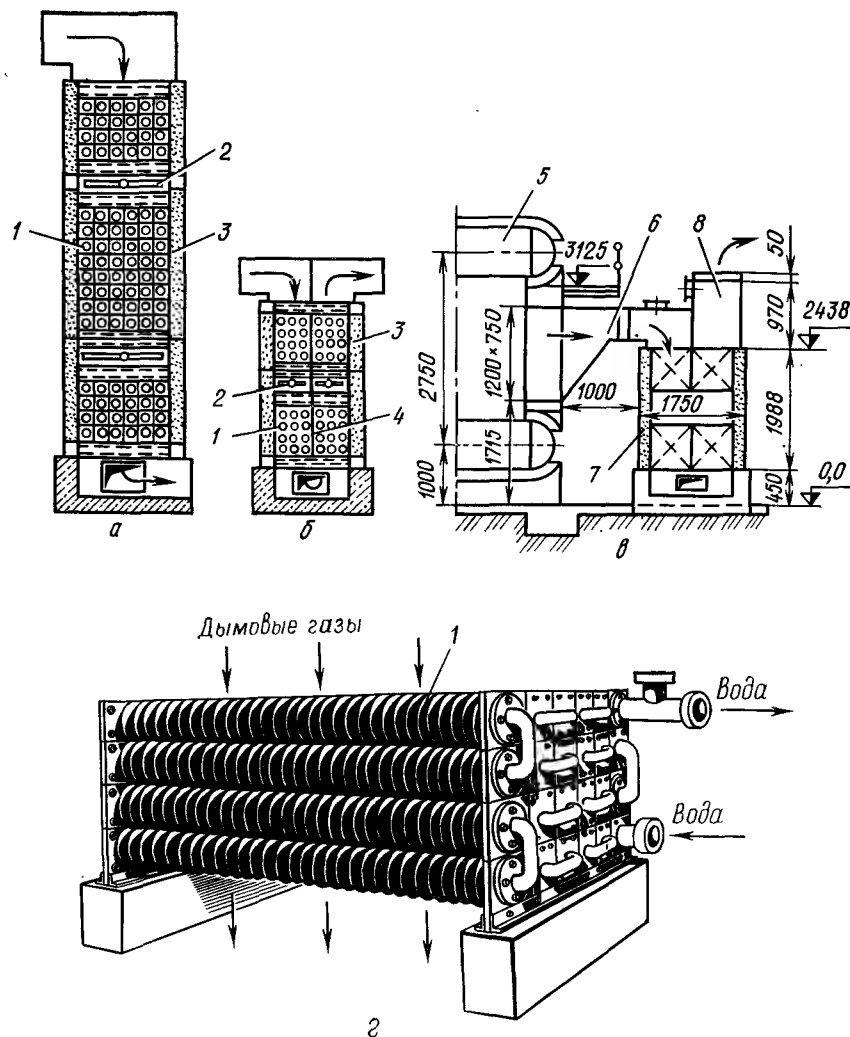


Рис. 36. Чугунные блочные водяные экономайзеры:

а — одноколонный; б — двухколонный; в — компоновка блочного экономайзера с котлоагрегатом ДКВр-6,5-13; г — секция чугунного экономайзера; 1 — ребристые трубы; 2 — обдувочное устройство; 3 — изоляция; 4 — металлические перегородки; 5 — котел; 6 — газоход; 7 — экономайзер; 8 — выход дымовых газов

матических устройств, регулирующих температуру подогрева воды в экономайзере, эта разность может быть снижена до 20° С.

Во избежание коррозии наружных поверхностей труб вода, поступающая в экономайзер, должна иметь температуру на

10° С выше температуры точки росы (температуры конденсации водяных паров) дымовых газов, что исключает возможность образования влаги на поверхности труб. Скорость воды в экономайзере должна быть в пределах 0,5...1 м/с.

Чугунные водяные экономайзеры применяются для котельных агрегатов малой и средней мощности для давлений до 2,2 МПа. Они могут применяться и для нагревания сетевой

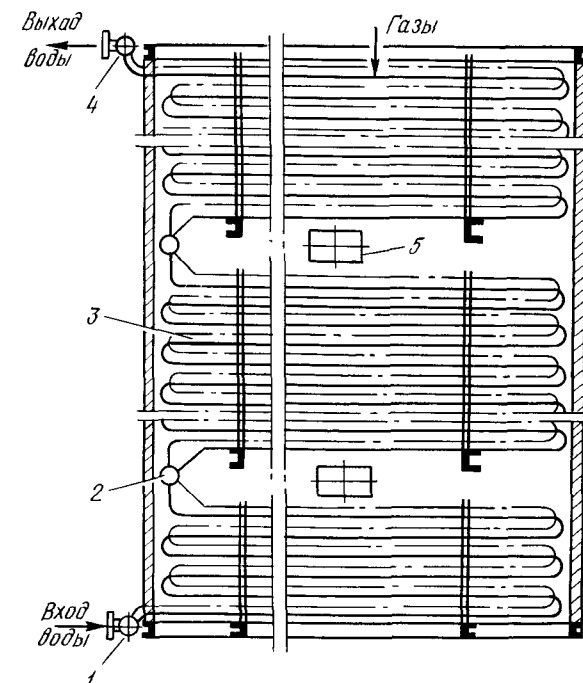


Рис. 37. Стальной гладкотрубный змеевиковый экономайзер:

1 — нижний коллектор; 2 — промежуточный коллектор; 3 — змеевики; 4 — верхний коллектор; 5 — лаз

воды. В зависимости от назначения экономайзера изменяется схема соединения труб и экономайзеру присваивается индекс П (питательный) или Т (теплофикационный).

Температура газов за экономайзером для котлов ДКВр не должна превышать 180° С. Температура воды в экономайзере: питательной на выходе 100° С (но не ниже 70° С) и на выходе 140...155° С; сетевой на входе 70 и на выходе 101...117° С.

Стальными гладкотрубными водяными экономайзерами укомплектовывают котлоагрегаты с давлением свыше 2,2 МПа. Их выполняют из стальных труб с наружным диаметром 28...32 мм, изогнутых в виде горизонтальных змеевиков (рис. 37). Концы труб приваривают к коллекторам.

Водяные экономайзеры из стальных труб бывают «кипящего» и «некипящего» типов. При кипящем типе между котлом



и экономайзером не устанавливают никаких запорных приспособлений и нет ограничения предела нагревания воды. Вода в нем может закипеть, причем количество пара, образующегося в экономайзере, допускается до 15% общей паропроизводительности котла. В кипящем экономайзере должен предусматриваться беспрепятственный отвод пара в котел. Небольшие диаметры труб позволяют создать компактный экономайзер, работающий с высоким коэффициентом теплопередачи.

Поверхность нагрева экономайзера разбивают по высоте на несколько пакетов высотой до 1,5 м, между которыми предусматривается разрыв 600...800 мм. Такое разделение необходимо для лучшего обслуживания экономайзера, производства ремонта и монтажа. Змеевики крепят на стойках, опирающихся на металлические балки каркаса экономайзера. Стальные водяные экономайзеры изготовляют из блоков и транспортируют в собранном виде.

Чугунные экономайзеры хорошо противостоят влиянию как внутренней, так и внешней коррозии. Стальные экономайзеры, наоборот, очень подвержены коррозии, поэтому в установках приходится особенно тщательно деаэрировать питательную воду, которая поступает в нижний коллектор экономайзера, проходит последовательно снизу вверх по всем змеевикам и выходит через верхний коллектор, направляясь в барабан котла. Дымовые газы в экономайзере движутся обычно сверху вниз, т. е. навстречу потоку воды. Скорость воды в некипящем экономайзере должна быть не менее 0,3...0,4 м/с при номинальной нагрузке котла, а на выходе из кипящего экономайзера — не менее 1 м/с.

При сжигании твердых видов топлива с большим количеством мелких фракций наблюдается большой золотый износ некоторых участков труб. Чтобы предохранить их от этого, в местах, подверженных износу, устанавливают специальные защитные приспособления. Для предотвращения износа труб летучей золой минимальная скорость дымовых газов в экономайзере при сжигании твердого топлива должна быть не ниже 6 м/с, а по условиям золотого износа труб змеевиков — не более 10 м/с.

Основной задачей эксплуатации водяных экономайзеров при работе на твердом топливе является постоянная и систематическая очистка их от внешних загрязнений. На рис. 39 представлены схемы включения водяных экономайзеров.

Установка водяного экономайзера обеспечивает экономию топлива от 5 до 12%. Для ориентировочных расчетов можно считать, что при охлаждении дымовых газов на 1°С вода в экономайзере подогревается на 0,5°С.

**Воздухоподогреватели.** Воздухоподогреватели предназначаются для подогрева воздуха, поступающего в топку

котла теплом отходящих газов. Они подразделяются на два типа: рекуперативные и регенеративные.

**Рекуперативные воздухоподогреватели.** В рекуперативных подогревателях воздуха тепло дымовых газов передается воздуху постоянно через разделяющую их стенку. Для котлов малой и средней производительности применяются стальные трубчатые и чугунные ребристые воздухоподогреватели. В на-

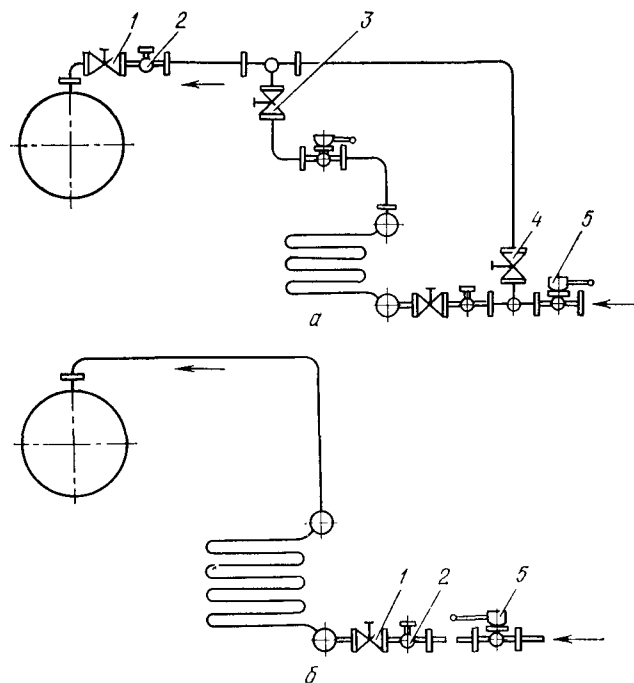


Рис. 38. Схемы включения водяных экономайзеров:

а — некипящего типа; б — кипящего типа; 1 — запорная задвижка; 2 — обратный клапан; 3, 4 — задвижки для питания котла через экономайзер и помимо него; 5 — предохранительный клапан

стоящее время изготовляются только стальные трубчатые воздухоподогреватели, как наиболее дешевые и экономичные. По конструктивному выполнению трубчатые подогреватели делятся на вертикальные и горизонтальные, а по ходу газа — на одноходовые и двухходовые. В котлоагрегатах средней и большой мощности применяются только одноходовые подогреватели по газу и многоходовые — по воздуху.

Вертикальные трубчатые подогреватели собираются из отдельных секций, состоящих из верхних и нижних трубных досок, в которые ввариваются в шахматном порядке стальные

трубы диаметром до 40 мм и толщиной стенки 1,5 мм. Дымовые газы проходят внутри труб сверху вниз, а воздух — между трубами (в поперечном направлении). Для обеспечения достаточного обдува внутренних поверхностей труб от летучей зоны (при сжигании твердого топлива) скорость дымовых газов в воздухоподогревателе должна быть порядка 10...14 м/с. Скорость воздуха принимается приблизительно в 2 раза меньшей. Для ориентировочных расчетов можно принимать, что охлаждение дымовых газов в воздухоподогревателе на 1°С со-

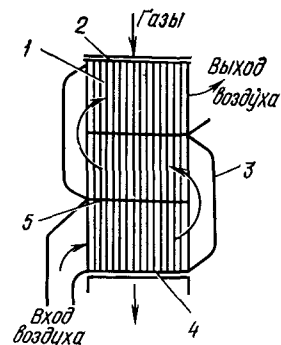


Рис. 39. Трубчатый однокоробовый воздухоподогреватель:

1 — трубы; 2 — верхняя трубная доска; 3 — перепускной воздушный короб; 4 — нижняя трубная доска; 5 — промежуточная трубная доска

ответствует подогреву воздуха на 1,25°С для сухих и на 1,5° для влажных топлив.

Во избежание коррозии воздухоподогревателя минимальная температура его стенки в самом холодном месте (при входе воздуха) должна быть выше температуры точки росы не менее чем на 10°С.

Для котельных агрегатов малой мощности при сжигании высоковлажных древесных отходов устанавливаются двухходовые (по газовой стороне) трубчатые воздухоподогреватели, которые состоят из двух секций, перепускных воздушных коробов, опорной рамы.

Дымовые газы проходят по трубам сверху вниз, делают поворот на 180° и по второй секции движутся снизу вверх. Воздух движется горизонтально, переходя из одной секции в другую по специальному перепускному воздушному коробу. Поверхность нагрева этих подогревателей 85, 140, 233, 300 и 498 м², скорость газов 10...12 м/с; воздуха 5...6 м/с. Подогрев воздуха осуществляется до 250 °С. На рис. 39 представлен однокоробовый трубчатый воздухоподогреватель.

**Регенеративные воздухоподогреватели.** Наиболее компактными являются подогреватели воздуха регенеративного типа (рис. 40), идея которых заключается в следующем: пакет металлических волнистых пластин, сложенных таким образом, что газ может проходить между ними в вертикальном направлении, медленно вращается вокруг вертикальной оси, причем каждая половина пакета поочередно вводится то в струю отходящих газов, то в струю воздуха. Пластины нагреваются от газов и затем попадают в струю воздуха, нагревая который, они в свою очередь охлаждаются, чтобы затем снова вступить в область газового потока.

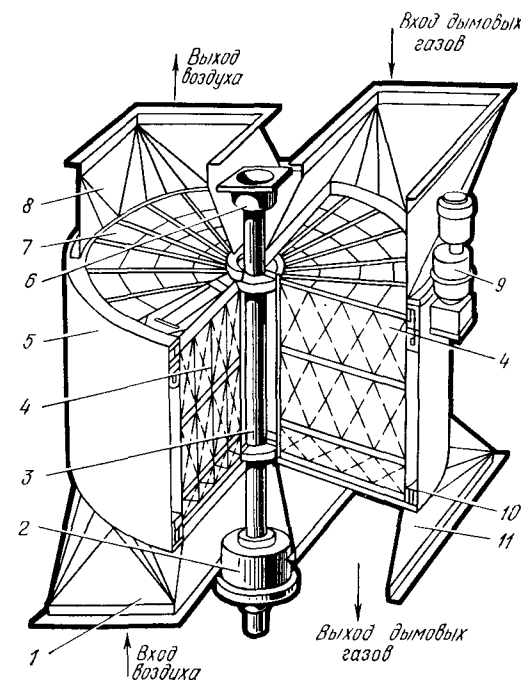
**Пароперегреватели.** Пароперегреватели — это теплообменные устройства, предназначенные для получения перегретого пара. Они являются одним из наиболее ответственных

элементов котла: температура рабочего агента в них больше, чем в других частях котлоагрегата, а поэтому стенки их труб нагреваются больше, чем трубы котла. Пароперегреватели, как правило, выполняются из высококачественной стали и поэтому стремятся к максимальному уменьшению поверхности их нагрева, что достигается установкой пароперегревателей возможно ближе к топочному устройству.

Конструкция пароперегревателей состоит из ряда параллельно включенных цельнотянутых труб диаметром 28...42 мм,

Рис. 40. Регенеративный воздухоподогреватель:

1 — короб для входа воздуха; 2 — фиксированный подшипник; 3 — вал ротора; 4 — набивка; 5 — неподвижный цилиндрический корпус; 6 — верхний подшипник вала; 7 — вертикальный цилиндрический ротор; 8 — короб выхода нагретого воздуха; 9 — электропривод ротора; 10 — уплотнение; 11 — короб выхода дымовых газов



изогнутых в виде петлеобразных змеевиков, развальцованных своими концами в коллекторах-паросборниках. Использование труб небольшого диаметра упрощает гибку змеевиков, увеличивает коэффициент теплоотдачи от газов к стенке и уменьшает загрязнение поверхности нагрева (рис. 41).

Существуют три типа пароперегревателей: конвективные, радиационные и комбинированные (сочетание конвективной части с радиационной). В котлоагрегатах низкого и среднего давления при температуре перегрева пара до 440°С применяются в основном только конвективные пароперегреватели. Они устанавливаются обычно за первым газодом котла при выходе дымовых газов из топки (где последние имеют наивысшую температуру) и отделяются от нее небольшим фестоном из

труб заднего экрана или несколькими рядами кипяточных труб. Допускается как вертикальное, так и горизонтальное расположение змеевиков пароперегревателя. То и другое расположение имеет свои положительные стороны и недостатки.

Применение пароперегревателей с вертикальными змеевиками упрощает их крепление, но при этом затрудняется удаление из них воды, что приводит к коррозии и увеличению высоты котла. Применение горизонтальных пароперегревателей

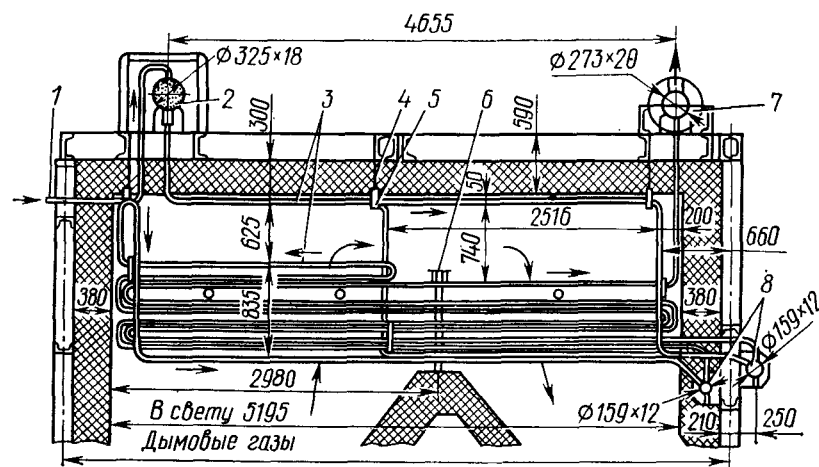


Рис. 41. Горизонтальный конвективный пароперегреватель:

1 — подвод насыщенного пара из барабана; 2 — поверхностный пароохладитель; 3 — змеевики пароперегревателя; 4 — тяга; 5 — подвеска; 6 — перегородка из пластин; 7 — коллектор перегретого пара; 8 — дренажные коллекторы

устраняет эти недостатки, однако здесь наблюдается провисание труб змеевиков в процессе эксплуатации, что приводит к ухудшению теплопередачи.

При конструировании пароперегревателей для котлоагрегатов средней паропроизводительности скорость пара в них принимают в пределах 20...25 м/с (исходя из условий надежного охлаждения паром стенок труб во избежание их перегрева), причем, чтобы не получить слишком больших гидравлических потерь, ее принимают тем меньше, чем больше давление пара. Обычно перепад давления в пароперегревателе не должен превышать 10% рабочего давления пара.

Следует иметь в виду, что с понижением форсировки котла уменьшается и температура пара, а с повышением влажности топлива она возрастает, так как в этом случае за счет испарения влаги увеличивается количество дымовых газов, что приводит к увеличению их скорости при прохождении через пароперегреватель и более интенсивной передаче тепла от газов

к пару. Кроме того, постепенное загрязнение наружных и внутренних поверхностей труб пароперегревателей вызывает понижение температуры перегрева пара. Все это приводит к необходимости регулирования температуры перегретого пара, которое в настоящее время осуществляется в основном путем его охлаждения. Для этого поверхность нагрева пароперегревателя определяют из расчета перегрева пара на 25...30° С больше, чем требуется по номиналу. Соответственно этому рассчитывают специальный пароохладитель.

В котельных агрегатах средней паропроизводительности применяется поверхностный пароохладитель, состоящий из корпуса, внутри которого расположен пучок стальных труб. По ним проходит питательная вода, а между ними — пар. Регулирование температуры перегретого пара производится изменением количества питательной воды, пропускаемой по трубам. По отношению к потоку газов пароперегреватели могут включаться по прямоточной, противоточной, параллельной и смешанной схемам.

В пароперегревателе, кроме нагрева пара, происходит и некоторое испарение котловой воды, уносимой с насыщенным паром из барабана котла. Явление это нежелательное, так как вызывает появление в змеевиках накипи, очищать которую из-за сложной их формы затруднительно. Учитывая это, следует очень тщательно следить за качеством котловой воды и работой паросепарационных устройств.

## 9.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ В КОТЕЛЬНЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИИ

В тепловом балансе котельного агрегата наибольшими являются потери тепла с уходящими газами  $q_2$ . При сжигании высоковлажных древесных отходов ( $W^p > 50\%$ ) эти потери могут достигать 15% от располагаемого тепла топлива. Снижение температуры уходящих газов ведет к существенному росту КПД котлоагрегата и обычно достигается развитием хвостовых поверхностей нагрева. Теоретически она могла бы снижаться до температуры воды, входящей в водяной экономайзер, или воздуха, входящего в воздухоподогреватель. Практически нижний предел температуры уходящих газов при сжигании влажных древесных отходов определяется из условия предотвращения конденсации водяных паров на поверхности нагрева. Температура точки росы дымовых газов определяется температурой конденсации водяных паров в дымовых газах при их парциальном давлении. При влажности древесного топлива  $W^p = 55\%$  и коэффициента избытка воздуха  $\alpha = 1,2...1,5$  эта величина колеблется в пределах 57...65° С. Вероятность возникновения сернистой коррозии низкотемпературных поверхностей нагрева при сжигании древесных

отходов очень мала. Однако снижение температуры уходящих газов до нижнего предела связано с резким увеличением поверхностей нагрева. При этом возрастает их стоимость и расходы на электроэнергию для снабжения тягодутьевых устройств и насосов. Определение оптимальной температуры уходящих газов производится на основании технико-экономических расчетов с учетом затрат на древесное топливо, на ремонт

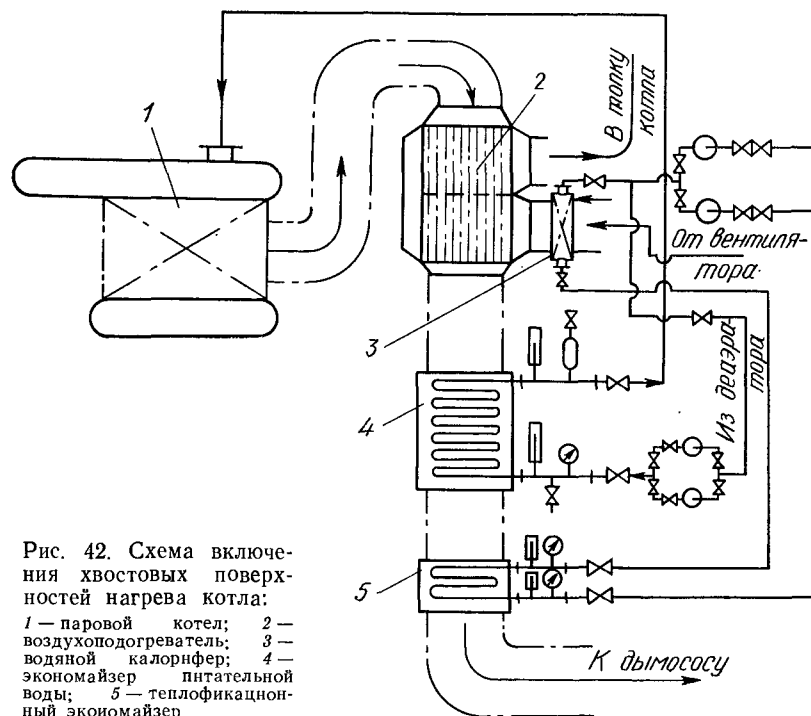


Рис. 42. Схема включения хвостовых поверхностей нагрева котла:  
1 — паровой котел; 2 — воздухоподогреватель; 3 — водяной калорифер; 4 — экономайзер питательной воды; 5 — теплофикационный экономайзер

поверхностей нагрева, их стоимость, установку необходимого оборудования. Величина оптимальной температуры уходящих газов находится в пределах  $120^{\circ}\text{C}$ .

После проведения анализа работы котлов ДКВр паропроизводительностью 4; 6,5; 10 т/ч, работающих на древесных отходах, была предложена схема компоновки хвостовых поверхностей (рис. 42). В качестве дополнительных поверхностей нагрева за воздухоподогревателем по ходу дымовых газов устанавливается экономайзер питательной воды и теплофикационный экономайзер. Теплофикационный экономайзер служит для подогрева воды, которая затем поступает в водяной калорифер и в свою очередь подогревает воздух. Воздух, нагретый в калорифере, поступает в воздухоподогреватель, в результате чего, температура дымовых газов за воздухоподо-

гревателем и температура воздуха, нагнетаемого в топку, повышается. Увеличение температуры дымовых газов позволяет между воздухоподогревателем и теплофикационным экономайзером вставить экономайзер питательной воды и нагревать воду, поступающую в котел. Нагрев воздуха промежуточным теплоносителем необходим, так как в противном случае из-за малого температурного напора за воздухоподогревателем потребуется дополнительная поверхность нагрева недопустимо больших размеров. Расчет хвостовых поверхностей котлоагрегатов проводится по общеизвестной методике. В ЦНИИМЭ были выполнены расчеты хвостовых поверхностей котлоагрегатов производительностью 4; 6,5; 10 т пара в час, при работе этих котлоагрегатов на древесных отходах лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий. Обобщение результатов этих расчетов позволило определить в первом приближении оптимальные температурные показатели работы отдельных элементов предложенной ЦНИИМЭ схемы хвостовых поверхностей нагрева для котельных, работающих на древесных отходах.

При проектировании хвостовой части рекомендуется выдерживать следующие температурные характеристики.

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| Температура дымовых газов, $^{\circ}\text{C}$ : |           |
| на входе в воздухоподогреватель                 | 300...330 |
| на выходе                                       | 200...220 |
| на входе в экономайзер питательной воды         | 200...220 |
| на выходе                                       | 140...160 |
| на входе в теплофикационный экономайзер         | 140...160 |
| на выходе                                       | 120       |
| Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$ :       |           |
| на входе в калорифер                            | 30        |
| на выходе                                       | 50...80   |
| на входе в воздухоподогреватель                 | 50...80   |
| на выходе                                       | 250...280 |
| Температура воды, $^{\circ}\text{C}$ :          |           |
| на входе в экономайзер питательной воды         | 100...105 |
| на выходе                                       | 125...130 |
| на входе в теплофикационный экономайзер         | 65...70   |
| на выходе                                       | 90...105  |
| на входе в калорифер                            | 90...105  |
| на выходе                                       | 65...70   |

Расходы электроэнергии на тягодутьевые устройства и питательные насосы необходимо подсчитывать с учетом величины удельного расхода электроэнергии  $(0,5...1)10^{-2}$  кВт/м<sup>2</sup> дополнительных поверхностей нагрева.

Предлагаемая схема утилизации вторичных тепловых ресурсов позволит увеличить КПД котлоагрегатов на 4...5%. Экономия топлива при реализации предложенной схемы для котлов различной мощности составит: для котлов типа ДКВр-4-13 120 т усл. топлива в год, для котлов ДКВр-6,5-13 190; для ДКВр-10-13 300.

### 30. Основные данные по низкотемпературным поверхностям нагрева для котло

| Марка котла | Вид оборудования, его      |                                     |                                    |
|-------------|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
|             | Воздухоподогреватель (тип) | Поверхность нагрева, м <sup>2</sup> | Экономайзер питательной воды (тип) |
| ДКВр-4-13   | ВП-140                     | 140                                 | ВЭ-II-16п                          |
| ДКВр-6,5-13 | ВП-233                     | 233                                 | ВЭ-VI-12п                          |
| ДКВр-10-13  | ВП-300                     | 300                                 | ВЭ-III-16п                         |

Срок окупаемости дополнительных затрат составит 1,5... 2 года. Некоторые данные по поверхностям нагрева приведены в табл. 30.

Возможно также использование тепла отходящих газов котельных установок в различных сушильных агрегатах, как отдельно стоящих, так и встроенных в котельные установки. Применяются для этой цели барабанные сушилки, трубы-сушилки, спирально-циклонные сушилки, где агентом сушки являются дымовые газы за котлом с температурой 250...350°C. На основании предварительных проработок установлено, что барабанная сушилка способна обеспечить котел подсушенным топливом мелкого или крупного фракционного состава, но имеет большие габариты и металлоемкость. Труба-сушилка не может быть рекомендована для подсушки древесных отходов в обычных условиях лесопромышленных предприятий, так как требует большой однородности фракционного состава топлива. Циклонно-спиральная сушилка при совместной работе с котлом может обеспечить последний сухим топливом, но только в случае его мелкого фракционного состава. При подсушке же крупных частиц топлива она должна работать от индивидуальной топki. Приведенные соображения позволяют считать, что экономически более целесообразно применять традиционные схемы использования тепла отходящих газов с помощью воздухоподогревателей и экономайзеров.

#### 9.3. ОБОРУДОВАНИЕ КОТЕЛЬНЫХ ДЛЯ ПОДАЧИ В ТОПОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА МЕЛКОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

По типовым проектам Гипролестранса оборудование котельных для подачи в топку мелкого древесного топлива крайне просто и состоит из скребковых транспортеров, смонтированных в верхней части помещения котельных, и топливных рукавов с плавными очертаниями, соединяющих проемы этих транспортеров с шахтами топочных устройств. Топливные

### агрегатов

| типоразмер и поверхность нагрева    |                                    |                                     |                         |                                     |
|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Поверхность нагрева, м <sup>2</sup> | Теплофикационный экономайзер (тип) | Поверхность нагрева, м <sup>2</sup> | Калорифер водяной (тип) | Поверхность нагрева, м <sup>2</sup> |
| 141,6                               | ВЭ-I-12т                           | 70,8                                | КВБ-10                  | 33                                  |
| 212,4                               | ВЭ-I-16т                           | 94,4                                | КВС-11                  | 72                                  |
| 330,4                               | ВЭ-II-16т                          | 141,6                               | КВБ-12                  | 143,5                               |

рукава снабжены шиберами, позволяющими перекрывать проемы транспортеров в случае остановки котла. Топливные рукава служат также буферными емкостями между транспортерами и топочными устройствами.

При установке шахтных топок с наклонным слоем топлива между верхними скребковыми транспортерами и шахтами топок устраиваются простейшие течи. Они представляют собой желоба из листового железа, по ширине равные ширине шахт топки и наклоненные под углом 45°.

Более сложной является подача в топку древесной пыли. В этом случае устраивается система подачи пыли, содержащая бункера, питатели, пневмотранспортные устройства и другое оборудование.

Бункера — предназначены для промежуточного хранения пылевидного топлива. Обычно они снабжаются устройствами, предназначенными для предупреждения зависания топлива в бункере и сводообразования в нем.

Питатели — служат для механизации отбора топлива из бункеров и регулирования количества мелкого топлива, поступающего в топочные устройства. Питатели можно подразделить на следующие характерные типы: винтовые, тарельчатые, барабанные и лопастные.

**Винтовые (шнековые) питатели** (рис. 43). Принцип действия их основан на том, что при вращении шнека мелкое древесное топливо получает осевое перемещение и извлекается из бункера. Изменение количества подаваемого топлива осуществляется изменением частоты вращения электродвигателя 1.

**Тарельчатые питатели** (рис. 44). Тарельчатые, или дисковые, питатели основаны на сбрасывании топлива с вращающегося диска посредством скребка. Количество топлива, поступающего в топку, изменяется в зависимости от положения манжеты 1 относительно диска 4: чем больше расстояние между манжетой и диском, тем больше топлива поступает в топку.

**Барабанные питатели** (рис. 45). Принцип работы барабанного питателя сводится к следующему. Барабан, смонтированный на горизонтальной оси под выпускным отверстием бункера является затвором, препятствующим свободному истечению

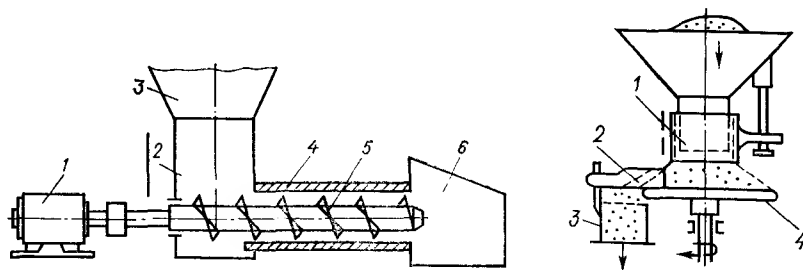


Рис. 43. Схема винтового питателя:

1 — электродвигатель; 2 — приемная камера; 3 — бункер мелкого древесного топлива; 4 — гильза; 5 — шпек; 6 — выходная камера

Рис. 44. Схема тарельчатого питателя:

1 — подъемная манжета; 2 — скребок; 3 — приемный патрубок; 4 — вращающийся диск

топлива из бункера. При вращении барабана мелкое топливо увлекается силой трения и равномерно высыпается через разгрузочную щель.

**Лопастные питатели** (рис. 46). Лопастные питатели работают по принципу близкому к принципу действия барабанного

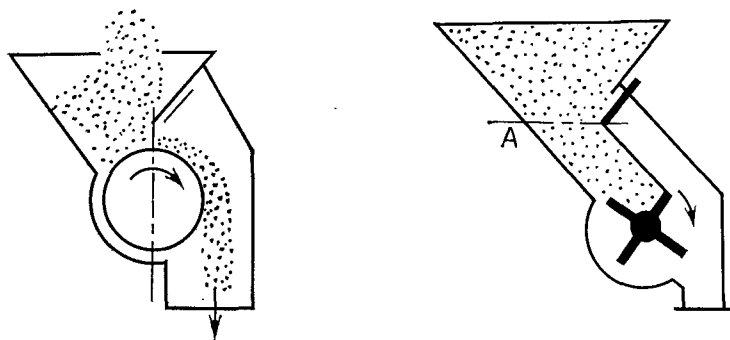


Рис. 45. Схема барабанного питателя

Рис. 46. Схема лопастного питателя

питателя. Эти питатели обеспечивают точное регулирование производительности. Как видно из рисунка, мелкое древесное топливо при выходе из бункера располагается на продолжении задней стенки под углом естественного откоса и упирается в лопасти питателя. Разгрузка топлива при вращении лопастей

происходит свободно, без заклинивания и при минимальной затрате мощности на привод питателя.

**Пневмотранспортные устройства.** Широкое распространение для подачи древесной пыли в топочные устройства получили пневмотранспортные установки. Они состоят из питателей для подачи топлива и его дозирования, вентиляторов, обеспечивающих движение воздуха, и пылепроводов, по которым движется смесь пыли и воздуха. Важнейшим звеном пневмотранспорта являются пылепроводы. Скорость воздуха в пылепроводах необходимо выбирать в пределах  $u=15\ldots 25$  м/с из условий предотвращения сепарации древесной пыли в трубопроводе.

Коэффициент подачи первичного воздуха в топливовоздушной смеси рекомендуется принимать в диапазоне  $\alpha_1=0,5\ldots 0,7$ . В соответствии с этим концентрации древесной пыли в топливовоздушной смеси лежат в пределах  $\mu=0,2\ldots 0,4$  кг/кг.

#### 9.4. СИСТЕМЫ УДАЛЕНИЯ ЗОЛЫ И ШЛАКА В КОТЕЛЬНЫХ, РАБОТАЮЩИХ НА ДРЕВЕСНОМ ТОПЛИВЕ

Дымовые газы, удаляемые в атмосферу, содержат частицы летучей золы и несгоревшего топлива, а при сжигании сернистого топлива — сернистый ангидрид. Они загрязняют окружающий воздушный бассейн, оказывают вредное действие на растительность и живые организмы, поэтому дымовые газы при сжигании твердого топлива должны подвергаться очистке от уносов специальными аппаратами — золоуловителями.

По принципу действия золоуловители делятся: на механические инерционные сухие; механические инерционные мокрые и электрические. Работа механических сухих золоуловителей основана на использовании сил инерции. В промышленных котельных, как правило, применяют механические золоуловители следующих типов: батарейные циклоны, жалюзийные золоуловители ВТИ и циклоны НИИОГАЗ.

**Батарейные циклоны** состоят из отдельных циклонных элементов, группируемых в общем корпусе в батарею. Каждый элемент батарейного циклона (рис. 47) состоит из литого чугунного или сварного корпуса 2 и стальных выхлопных труб 1 диаметрами 100, 150, 250 мм с прикрепленным на ней направляющим аппаратом 3 типа винт или розетка. Аппарат типа винт состоит из двух винтовых лопастей, приваренных к выхлопной трубе под углом  $25^\circ$ , а типа розетка — из восьми лопастей, закрепленных под углом  $25\ldots 30^\circ$  на специальной манжете. Во избежание конденсации водяных паров на стенках циклонов минимально допустимая температура дымовых газов должна быть выше на  $20\ldots 25^\circ\text{C}$  точки росы.

При слоевом сжигании топлива к котлам производительностью 2,8 кг/с и менее, если температура газа за котлом не превышает  $400^\circ\text{C}$ , батарейный циклон рекомендуется устанавли-

вать между котлом и экономайзером. Если температура газа превышает  $400 \dots 450^\circ\text{C}$ , циклон должен устанавливаться между экономайзером и дымососом или за первой колонкой экономайзера.

Работают батарейные циклоны следующим образом: запыленные дымовые газы входят в межтрубное пространство

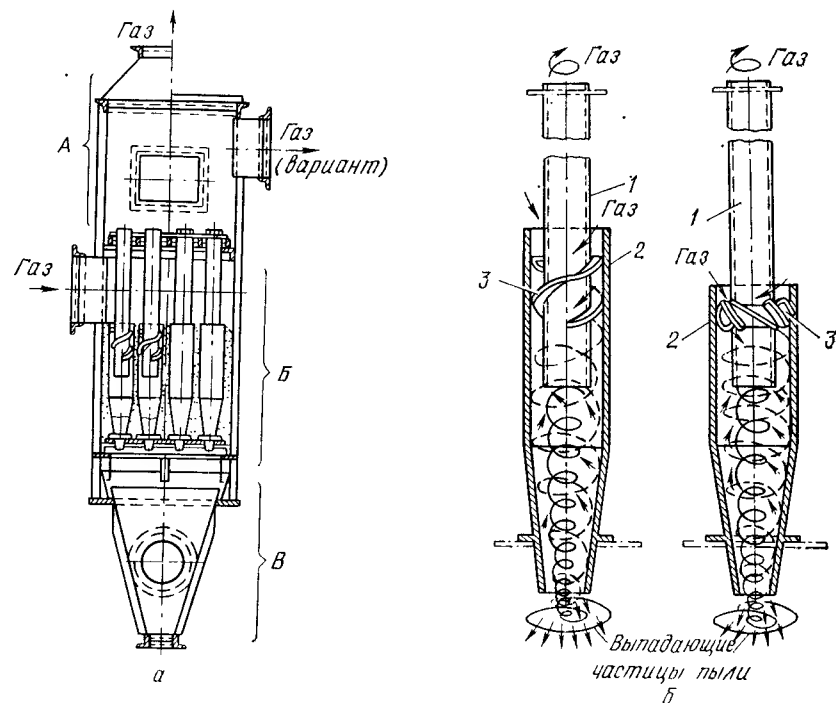


Рис. 47. Батарейный циклон:

а — общий вид; б — схема движения газа в элементе циклона; А — камера обеспыленного газа; Б — газораспределительная камера; В — бункер для сбора пыли; 1 — выхлопная труба; 2 — корпус; 3 — направляющий аппарат

средней камеры и мелкими струями поступают в батареи циклонов, в которых приобретают вращательное движение. В результате зола, содержащаяся в газах, отжимается к стенке корпуса циклона, выделяясь из газового потока, и стекает в золовый бункер, откуда по мере накопления удаляется из золоуловителя. Очищенные газы через внутренние выхлопные трубы циклонов проходят в верхнюю камеру, откуда общим потоком отводятся из циклона к дымососу. Недостатком батарейных циклонов является их высокое сопротивление, что связано с дополнительным расходом электроэнергии на тягу.

**Циклоны НИИОГАЗ** эффективно улавливают частицы пыли

размером 5 мк и выше. При этом чем меньше диаметр циклона, тем более мелкие частицы пыли им улавливаются (рис. 48).

Наибольшим коэффициентом обеспыливания обладает ЦН-11, но он имеет и наибольшее гидравлическое сопротивление, а следовательно, и повышенный расход электроэнергии. Поэтому его рекомендуется применять в котельных с повышенными требованиями к очистке газов.

Наименее эффективные циклоны ЦН-15у (укороченный) и ЦН-24 (высокопроизводительный) рекомендуется применять соответственно, если существуют обязательные габаритные ограничения в котельной или невысокие требования к очистке. В качестве основного типа циклона для очистки дымовых газов рекомендуется применять ЦН-15.

Циклоны НИИОГАЗ могут устанавливаться как на всасывающем, так и на нагнетательном участке газохода. Они могут объединяться в группы с общими коллекторами на входе и выходе и общим бункером для сбора золы. Количество циклонов в группе не должно быть больше восьми независимо от их диаметра. Производительность циклонов в зависимости от их количества в группе при температуре  $150^\circ\text{C}$  и сопротивлении  $0,34 \dots 0,49 \text{ кПа}$  может быть от 1,61 до  $15 \text{ м}^3/\text{с}$ . Давление (разрежение) поступающего на очистку газа

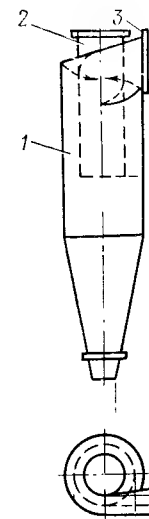


Рис. 48. Схема циклона НИИОГАЗ:

1 — корпус; 2 — выпускной патрубок; 3 — впускной патрубок

не должно превышать  $2,45 \text{ кПа}$ , а температура  $400^\circ\text{C}$  (но не ниже точки росы).

При компоновке циклонов в группу необходимо соблюдать равенство их сопротивлений. Подвод и отвод газа к каждому циклону от коллектора следует выполнять плавными переходами.

**Улиточные искрозолоуловители НИИОГАЗ** (рис. 49). Наиболее рациональным способом сухой очистки дымовых газов является для условий лесозаготовительной промышленности использование улиточных искрозолоуловителей. Первые образцы улиточных искро- и золоуловителей для очистки дымовых газов котельных, работающих на мелком древесном топливе, были разработаны Семибратским филиалом НИИОГАЗ.

Дымовые газы поступают из воздухоподогревателя котлоагрегата в корпус 1 искрозолоуловителя через его тангенциальный входной патрубок и получают здесь интенсивное вращательное движение. Под действием инерционных сил твердые частички древесного угля отбрасываются к периферии улитки и направляются козырьком 3 в золовыпускной патрубок и про-

ходят далее в выносной циклон 6. Из циклона 6 уловленный недожег отводится через форбункер 5, мигалку 4 и по вертикальному стояку направляются обратно в топку, где полностью сгорают. Газы из циклона 6 после отделения от них частичек угля отводятся обратно в искро- и золоуловитель и поступают в центральную зону улитки, где образуется разрежение. Циркуляция газа через выносной циклон осуществляется, таким образом, за счет перепада давления между центром улитки и ее

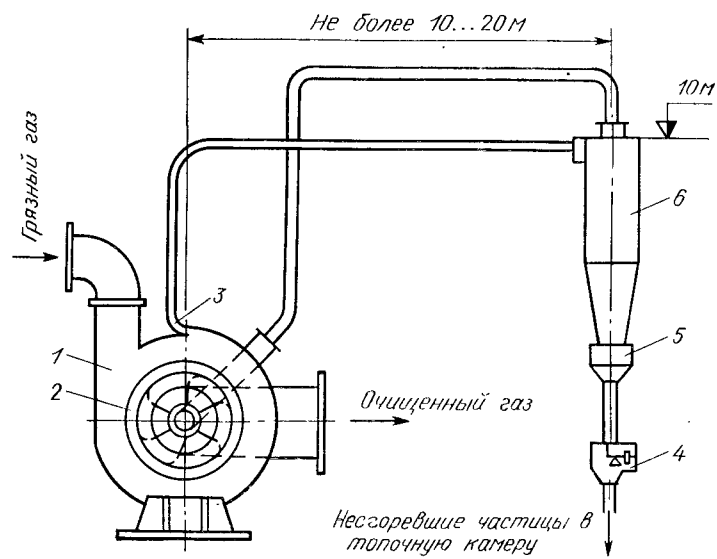


Рис. 49. Схема улиточного искрозолоуловителя НИИОГАЗ

периферией, образуящегося вследствие вращательного движения газа в улитке. Очищенные дымовые газы из центральной зоны улитки через направляющий аппарат 2 поступают в дымосос, а затем проходят в дымовую трубу. Через выносной циклон 6 проходит небольшая часть дымовых газов, всего 8...10 %, поэтому габарит этого аппарата невелик.

Преимуществами улиточных искрозолоуловителей НИИОГАЗ является: малое аэродинамическое сопротивление аппаратов; низкая металлоемкость конструкции; высокий коэффициент очистки; защита дымососа от абразивного уноса; экономия топлива за счет возврата несгоревших частиц древесного угля на дожигание в топку.

Основные показатели улиточных искрозолоуловителей НИИОГАЗ приводятся в табл. 31.

**Жалюзийные золоуловители ВТИ.** Основным элементом золоуловителя являются жалюзийные решетки, набираемые из отдельных металлических уголков (рис. 50). Решетки могут

устанавливаться как в горизонтальном, так и в вертикальном прямом участке газохода под углом  $9^\circ$  к его оси. Они размещаются таким образом, что сечение выходной камеры постепенно расширяется, а сечение входной — сужается. Значение коэффициента обеспыливания жалюзийного золоуловителя, рекомендуемые ВТИ, составляют 60...94 %, в зависимости от способа сжигания и рода топлива.

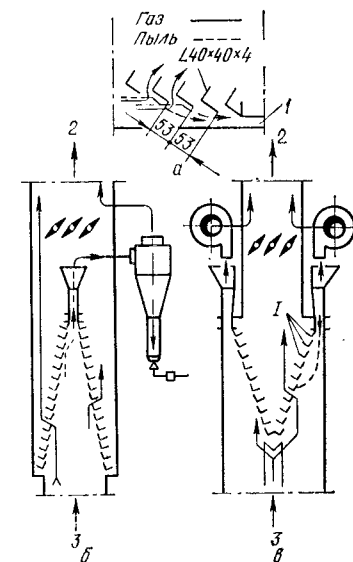
При проектировании золоуловителей используют следующие рекомендации ВТИ:

1. Температура дымовых газов перед золоуловителем не должна быть выше для стальных решеток  $400...450^\circ\text{C}$ , для чугунных решеток  $450...500^\circ\text{C}$ .

2. Скорость потока газов перед жалюзийной решеткой принимается в пределах 10...15 м/с, а в отсосной щели на 25 % больше.

Рис. 50. Жалюзийный золоуловитель системы ВТИ:

а — схема работы решетки; б — схема работы золоуловителя с центральной отсосной щелью; в — то же, но с боковыми отсосными щелями; 1 — отсосная щель; 2 — выход очищенного газа; 3 — вход запыленного газа



3. Для обеспечения непрерывного удаления из циклона золы и устранения возможных подсосов воздуха под циклоном устанавливается мигалка специальной конструкции. Ее расстояние от циклона должно быть не меньше 700 мм.

31. Характеристика улиточных искрозолоуловителей

| Наименование показателей                                                    | Производительность котла, т/ч |         |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------|
|                                                                             | 5                             | 10      |
| Производительность, м³/ч                                                    | 28 100                        | 37 600  |
| Количество газа, проходящего через выносной циклон, % от производительности | 11,1                          | 5,4     |
| Температура дымовых газов, °C                                               | 220                           | 218     |
| Гидравлическое сопротивление, Па:                                           |                               |         |
| золоуловителя                                                               | 360                           | 460     |
| выносного циклона                                                           | 300                           | 250     |
| Запыленность газа на входе, г/м³                                            | 5,0                           | 6,5     |
| Коэффициент очистки, %                                                      | 85...90                       | 80...84 |
| Насыпная плотность угля, кг/м³                                              | 150                           | 150     |



4. По условиям золотого износа сопротивление золоуловителя не должно превышать: 0,2...0,25 кПа при сжигании топлива в шахтно-мельничных топках; 0,44...0,49 кПа при слоевом сжигании топлива.

Для очистки дымовых газов котельных, работающих на древесных отходах, весьма эффективным может быть применение микропрутковых золоуловителей МП-ВТИ.

Выбор золоуловителя определяется: санитарными требованиями к качеству очистки дымовых газов, количеством очищенных дымовых газов и физико-химическими свойствами летучей золы.

Наиболее эффективными для улавливания летучей золы являются батарейные циклоны и циклоны НИИОГАЗ. Однако они требуют значительно больших площадей и расхода металла, чем золоуловители ВТИ.

**Шлакозолоудаление.** По «Правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов» для котельных с общим выходом шлака и золы от всех котлов 0,06 кг/с и более (независимо от производительности котлов) должно быть механизировано удаление золы и шлака.

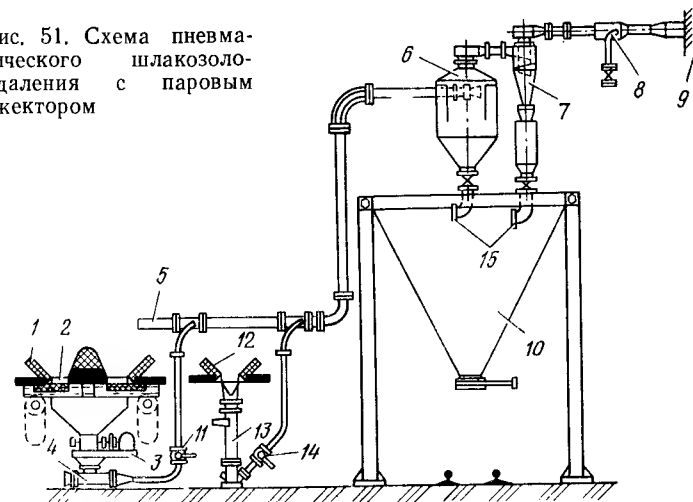
Механизация шлакоудаления может осуществляться тремя принципиально различными способами: гидравлическим (гидрозолоудаление); пневматическим (пневмозолоудаление) и механическим. Применяются также комбинированные способы: пневмомеханический и пневмогидравлический.

**Пневмозолоудаление.** По способу транспортировки очаговых остатков установки пневмозолоудаления разделяются на всасывающие, нагнетательные и смешанные. Во всасывающих системах наблюдается повышенный износ оборудования мелкими золовыми частицами, которые не улавливаются циклоном. Вместе с тем, находясь под разрежением, эти системы исключают запыливание окружающего воздуха, что является важным их преимуществом.

На рис. 51 представлена схема пневматического шлакозолоудаления с непрерывнодействующим паровым эжектором. Накапливающийся в бункере 1 шлак через затвор 2 периодически поступает в дробилку 3, измельчающую его до кусков размером не более 20...25 мм. В насадке 4 измельченные куски шлака подхватываются потоком воздуха и транспортируются по сборному золопроводу 5 в циклон 6, где они освобождаются от воздуха. В циклон поступает также и золовоздушная смесь, образующаяся в телескопической насадке 13 золотого бункера 12. Воздух, очищенный от пыли в пылеуловителе 7, проходит затем паровой эжектор 8 и вместе с отработавшим паром выбрасывается в дымовую трубу 9. Шлак и зола из циклона и пылеуловителя выпускаются через мигалки 15 в сборный бункер 10, откуда они вывозятся железнодорожными вагонами или автомашинами на золоотвал.

Отсос паровым эжектором шлака и золы осуществляется поочередно: после удаления шлака горизонтальная насадка 4 отключается краном 11 и открывается кран 14 для отсоса

Рис. 51. Схема пневматического шлакозолоудаления с паровым эжектором



золы. Всасывание золы производится обычно телескопической насадкой, состоящей из двух труб, концентрически вставленных одна в другую. Производительность насадки регулируется

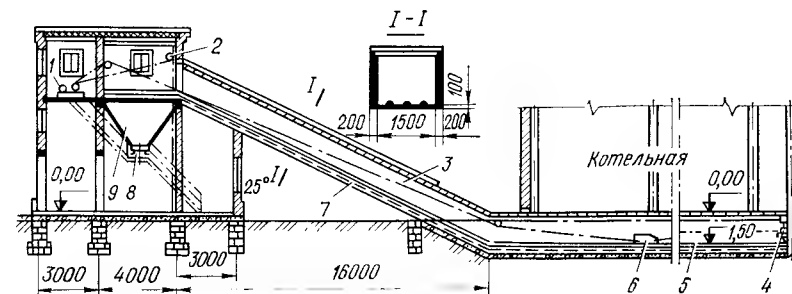


Рис. 52. Схема скреперного золошлакоудаления для котельной небольшой мощности:

1 — скреперная электрическая лебедка; 2 — направляющий блок; 3 — стальной канат; 4 — натяжное устройство; 5 — скреперный канал; 6 — скрепер; 7 — наклонная эстакада; 8 — шинбер; 9 — железобетонный бункер для золы и шлака

величиной смещения конца наружной трубы по отношению внутренней или скоростью воздуха в ней.

**Механические системы** (периодического или непрерывного транспортирования) обычно предусматривают в котельных с котлами, оборудованными топками для слоевого сжигания

топлива. Системы периодического транспортирования применяются при выходе очаговых остатков в количестве 1,1 кг/с, системы непрерывного транспортирования — при выходе не более 2,2 кг/с.

Для периодического транспортирования используют скреперные и скиповые установки, а также другие подъемники, для непрерывного транспортирования — канатно-дисковые, скребковые конвейеры и шлаковывалки различных конструкций. Канатные скреперные установки могут работать как при сухом, так и при мокром шлакозолоудалении. Первые применяются в том случае, если шлак и зола используются в промышленности строительных материалов или при длительном их хранении.

На рис. 52 показана схема скреперного шлакоудаления из котельной малой производительности. Для удаления шлака и золы из котельных с котлами, оборудованными топками ручного обслуживания и часовым выходом очаговых остатков менее 0,06 кг/с, рекомендуется применять узкоколейные вагонетки с опрокидывающимся кузовом, монорельсовый подвесной транспортер, саморазгружающиеся конвейеры и др.

## 10. ПОДГОТОВКА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА К СЖИГАНИЮ

### 10.1. ОПТИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР ЧАСТИЦ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Древесное топливо можно подразделить на дрова, твердые или кусковые древесные отходы и мягкие древесные отходы.

Мягкие древесные отходы — это опилки, стружки и древесная пыль. Наибольшее значение как топливо имеют опилки. Они образуются при продольной и поперечной распиловке древесины и имеют частицы размером не более 5...6 мм. Мягкие древесные отходы обычно сжигают в том виде, в каком они образуются при обработке древесины.

Стружки — частицы древесины, отделяемые в процессе строгания древесных заготовок, отличаются очень малым размером по толщине, большой парусностью и малой насыпной массой.

Древесная пыль образуется при шлифовании фанеры и древесных плит, имеет размеры частиц менее 0,5 мм, обладает высокой парусностью и способностью образовывать с воздухом взрывоопасную смесь.

Кусковые древесные отходы состоят из отходов кроны и стволовой древесины. К отходам кроны относят ветви, сучья, вершины и хворост. Отходы стволовой древесины — это откомлевки, козырьки, горбыли, рейки, торцовые обрезки и т. п. Ку-

сковые отходы перед сжиганием должны пройти соответствующую подготовку — измельчение до получения из них массы с приблизительно одинаковыми размерами частиц, позволяющими успешно применить для их погрузки, разгрузки и транспортирования обычные средства механизации этих процессов, а также обеспечивающими эффективное сжигание таких частиц простейшим слоевым способом.

Полностью механизировать процесс топливоотдачи дров в топочные устройства котлоагрегатов трудно, поэтому дрова перед их использованием в котельных обычно измельчают. Весьма сложным является вопрос определения оптимальных размеров частиц, до которых надо измельчать дрова и кусковые древесные отходы перед их сжиганием.

Обратимся к опыту сжигания горючих ископаемых. Сжигание каменных углей в современных мощных котельных установках осуществляется при измельчении кусков топлива в высокодисперсную угольную пыль. При этом угольная пыль сжигается при помощи элементарных горелок в простейших топочных устройствах, представляющих собой камеру, экранированную со всех сторон трубными решетками (экранами). Такой способ позволяет эффективно сжигать даже отходы каменного угля с весьма малой активностью, непригодные для сжигания слоевым способом. Пылеугольный способ сжигания твердого топлива дает возможность механизировать все процессы производства тепла при минимальном количестве обслуживающего персонала, предельно упростить и унифицировать топочные устройства.

Однако сжигание каменных углей в пылевидном состоянии целесообразно только в случае, если паропроизводительность котлов превышает 35 т в час. Это обусловлено тем, что для применения пылеугольного сжигания необходимо построить дополнительную сложную систему пылеприготовления, для обслуживания которой требуется дополнительный штат обслуживающего персонала, что экономически целесообразно только для мощных котельных.

В котельных лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий применяются в основном котлоагрегаты с паропроизводительностью до 20 т в час, а следовательно, топливоподготовка, предусматривающая сжигание всего древесного топлива в пылевидном состоянии экономически не оправдана. При этом следует иметь в виду, что приготовление высокодисперсной пыли из древесины задача более сложная, чем измельчение до такой же степени дисперсности каменных углей и антрацитов, отличающихся большей по сравнению с древесиной хрупкостью.

В топочных устройствах слоевого типа освоено сжигание древесного топлива различного гранулометрического состава, начиная с дров в виде метровых поленьев и кончая опилками

с размером частиц не более 6 мм. Таким образом, оптимальный размер частиц, до которого следует измельчать дрова и кусковые древесные отходы, в принципе нужно определять исходя из минимальных затрат энергии на измельчение древесины, с одной стороны, при обеспечении возможности полной механизации и автоматизации процессов топливоподачи — с другой.

Создание специальных машин для измельчения дров и древесных отходов в топливную щепу с оптимальными размерами частиц в настоящее время встречает определенные трудности. Поэтому для производства топливной щепы применяются рубительные машины, разработанные для производства технологической щепы. Это оправдано, с одной стороны, необходимостью унификации парка рубительных машин в лесозаготовительной отрасли. С другой стороны, топливную щепу, полученную на таких рубительных установках, можно успешно сжигать вместе с опилками в одних и тех же топочных устройствах. Таким образом, все многообразие древесных отходов может быть сведено к трем видам: смесь топливной щепы и опилок; древесная пыль от шлифования фанеры и древесных плит; кора.

Смесь топливной щепы и опилок может эффективно сжигаться в слоевых топочных устройствах. Древесная пыль требует применения топочных устройств, предусматривающих сжигание во взвешенном состоянии. Кора, полученная от сухой окорки, после ее измельчения может успешно сжигаться в слоевых топках, где сжигаются опилки и топливная щепа. Высоковлажная кора после ее сушки и достаточно большой степени измельчения может сжигаться в топочных устройствах для сжигания древесной пыли.

## 10.2. РУБИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДРОВ И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В ТОПЛИВНУЮ ЩЕПУ

По принципиальной конструктивной схеме все существующие типы рубительных машин можно подразделить на два класса — дисковые и барабанные.

В дисковых рубительных машинах механизм резания выполнен в виде вращающегося диска, на котором расположены режущие ножи. По типу ножевого диска дисковые рубительные машины подразделяются на машины с плоским и коническим диском. Рабочая поверхность диска может быть профилированной (геликоидальной) и непрофилированной. По числу ножей дисковые рубительные машины подразделяются на малоножевые и многоножевые.

В малоножевых машинах процесс резания характеризуется цикличностью (прерывностью). Многоножевые машины работают по принципу непрерывного резания — очередной нож входит в контакт с древесиной раньше, чем выходит из соприкосновения с древесиной предыдущий нож. По направлению

подачи перерабатываемой древесины дисковые рубительные машины можно разделить на машины с горизонтальной и машины с наклонной подачей.

В барабанных рубительных машинах механизм резания выполнен в виде вращающегося барабана, на котором установлены режущие ножи. Ножевой барабан может быть выполнен в виде цилиндра или в виде двух соосно установленных усеченных конусов. Барабанные рубительные машины по типу подачи сырья подразделяются на машины с принудительной подачей сырья и машины с самоподачей (гравитационной или самозатягивающей).

Рубительные машины для измельчения дров и древесных отходов в топливную щепу изготавливаются Гатчинским опытным заводом бумагоделательного оборудования им. Рошала. Для измельчения в топливную и технологическую щепу отходов лесопиления и деревообработки и низкокачественной древесины в виде маломерного кругляка до 200 мм в диаметре выпускаются рубительные машины МРНП-10 и МРГ-20Н. Это дисковые рубительные машины, причем машина МРНП-10 имеет наклонный загрузочный патрон, а машина МРГ-20Н снабжена горизонтальным загрузочным патроном.

Для измельчения в щепу дров Гатчинский опытный завод бумагоделательного оборудования выпускает рубительные машины МРНП-30, МРГ-40 и МРН-50.

### Краткая техническая характеристика рубительных машин МРНП-10 и МРГ-20Н

|                                                        | МРНП-10 | МРГ-20Н |
|--------------------------------------------------------|---------|---------|
| Марка машины                                           | МРНП-10 | МРГ-20Н |
| Производительность, пл. м <sup>3</sup> /ч              | 10      | 20      |
| Мощность главного двигателя, кВт                       | 50      | 90      |
| Напряжение главного двигателя, В                       | 380     | 380     |
| Частота вращения главного двигателя, мин <sup>-1</sup> | 590     | 740     |
| Габаритные размеры, мм:                                |         |         |
| длина                                                  | 2650    | 2700    |
| ширина                                                 | 1700    | 1660    |
| высота                                                 | 1760    | 1400    |
| Масса, кг                                              | 5650    | 5450    |
| Цена, р.                                               | 8750    | 9000    |

Рубительная машина МРНП-30 дисковая с наклонным загрузочным патрубком предназначена для измельчения в щепу низкокачественной древесины и крупномерных отходов лесопиления (горбылей и реек). Рубительная машина МРГ-40 дискового типа с горизонтальным загрузочным патрубком обеспечивает переработку в топливную и технологическую щепу низкокачественной древесины в долготье. Кроме того, машина рассчитана на применение ее в комплекте с подающим механизмом М-9 для измельчения в щепу отходов лесозаготовок в виде вершин и сучьев. Максимальный диаметр перерабатываемого кругляка 320 мм.

Более мощной рубильной машиной также дискового типа с наклонным загрузочным патрубком является машина МРН-50. Она снабжена более мощным высоковольтным электродвигателем.

**Краткая техническая характеристика рубильных машин МРНП-30, МРГ-40 и МРН-50**

| Марка машины                                           | МРНП-30 | МРГ-40 | МРН-50      |
|--------------------------------------------------------|---------|--------|-------------|
| Производительность, пл. м <sup>3</sup> /ч              | 30      | 40     | 50          |
| Мощность главного двигателя, кВт                       | 99      | 160    | 315         |
| Напряжение главного двигателя, В                       | 380     | 380    | 3 000—6 000 |
| Частота вращения главного двигателя, мин <sup>-1</sup> | 740     | 590    | 365         |
| Габаритные размеры, мм:                                |         |        |             |
| длина                                                  | 2650    | 3 610  | 6 815       |
| ширина                                                 | 1700    | 2 430  | 3 350       |
| высота                                                 | 1760    | 2 145  | 4 230       |
| Масса, кг                                              | 5750    | 13 590 | 32 800      |
| Цена, р.                                               | 9300    | 14 300 | 26 000      |

Установка ДУ-2 ЦНИИМЭ, специально разработанная для измельчения в щепу отходов лесозаготовок при вывозке на нижний склад деревьев, изготавливается Ижевским экспериментальным механическим заводом. В установку входят рубильная машина ДУ-2 с механизмом подачи древесных отходов к режущему механизму и тросовый транспортер для транспортирования лесосечных отходов от разделочной эстакады к рубильной машине. Рубильная машина ДУ-2 ЦНИИМЭ барабанного типа.

**Техническая характеристика рубильной машины ДУ-2**

|                                                   |              |
|---------------------------------------------------|--------------|
| Производительность, пл. м <sup>3</sup> /ч         | 12,4         |
| Диаметр ножевого барабана, мм                     | 600          |
| Число режущих ножей                               | 4            |
| Частота вращения барабана, мин <sup>-1</sup>      | 600          |
| Число подающих валцов                             | 6            |
| Скорость подачи, м/мин                            | 48           |
| Расчетный размер частиц щепы по длине, мм         | 20           |
| Размеры приемного окна, мм:                       |              |
| ширина                                            | 300          |
| высота                                            | 5—300        |
| Вентилятор для удаления щепы из полости барабана: |              |
| тип                                               | центробежный |
| диаметр ротора, мм                                | 900          |
| частота вращения, мин <sup>-1</sup>               | 980          |
| Установленная мощность электродвигателей, кВт     | 76,5         |

При монтаже установки ДУ-2 следует учитывать, что расстояние подачи щепы вентилятором машины не должно превышать 9...10 м при высоте расположения конца трубопровода не более 5...6 м.

Рубильная машина МРГС-7 для измельчения в щепу лесосечных отходов (вершин, сучьев, ветвей) является более мощной, чем рубильная машина ДУ-2.

**Техническая характеристика рубильной машины МРГС-7 для измельчения в щепу сучьев**

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| Производительность, пл. м <sup>3</sup> /ч | 30     |
| Диаметр барабана, мм                      | 1 270  |
| Размеры приемного патрона, мм:            |        |
| ширина                                    | 900    |
| высота                                    | 500    |
| Размеры слоя перерабатываемого сырья, мм: |        |
| ширина                                    | 900    |
| высота                                    | 700    |
| Установленная мощность, кВт               | 178    |
| Масса машины, кг                          | 17 500 |
| в том числе механизма рубки               | 12 000 |
| Габаритные размеры, мм:                   |        |
| длина                                     | 5 057  |
| ширина                                    | 2 716  |
| высота                                    | 2 626  |
| Цена, тыс. р.                             | 40,7   |

При раскряжевке хлыстов на разделочных площадках нижнего склада образуются крупнокусковые древесные отходы в виде откомлевок, козырьков, фаутных короткомерных вырезок и т. п. Эти отходы имеют длину не свыше 750 мм, и их измельчение рубильными машинами, предназначенными для измельчения более длинных круглых сортиментов, невозможно. Для измельчения в щепу откомлевок, козырьков и других короткомерных отходов от раскряжевки хлыстов ПО «Петро-заводскбуммаш», выпускает рубильную машину МРБ-04 с шахтной загрузкой сырья.

**Техническая характеристика рубильной машины МРБ-04**

|                                                      |                         |
|------------------------------------------------------|-------------------------|
| Производительность, пл. м <sup>3</sup> /ч            | 15                      |
| Диаметр барабана, мм                                 | 960                     |
| Частота вращения барабана, мин <sup>-1</sup>         | 350                     |
| Число резцов                                         | 37                      |
| Размеры щепы, мм:                                    |                         |
| длина                                                | 22                      |
| толщина                                              | 5                       |
| Сечение загрузочного патрона, мм                     | 800×900                 |
| Максимальные размеры перерабатываемой древесины, мм: |                         |
| длина                                                | 750                     |
| диаметр                                              | 800                     |
| Удаление щепы                                        | плужковым сбрасывателем |
| Мощность электродвигателя, кВт                       | 75                      |
| Габарит, мм:                                         |                         |
| длина                                                | 2650                    |
| ширина                                               | 2000                    |
| высота                                               | 2140                    |
| Масса, кг                                            | 4975                    |

Для измельчения в щепу долготья ПО «Петрозаводскбум-маш» выпускает резцовую дисковую машину МРГМ-01.

#### Техническая характеристика рубительной машины МРГМ-01

|                                     |                                                  |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Тип машины                          | дисковая резцовая с горизонтальной подачей сырья |
| Производительность, пл. м³/ч        | 50                                               |
| Размеры перерабатываемого сырья, м: |                                                  |
| диаметр                             | 0,8                                              |
| длина                               | до 24                                            |
| Мощность электродвигателя, кВт      | 160                                              |
| Масса, кг                           | 27 000                                           |

### 10.3. ВНУТРИЗАВОДСКОЙ ТРАНСПОРТ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ И ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

**Внутризаводской транспорт древесного сырья.** Для подачи круглого древесного сырья к рубительным машинам используются обычно цепные скребковые транспортеры.

#### Техническая характеристика цепных скребковых транспортеров

|                                                |            |              |
|------------------------------------------------|------------|--------------|
| Марка транспортера                             | Б22У-3     | Б22У-1       |
| Скорость цепи, м/с                             | 0,65...1,1 | 0,59...0,63  |
| Длина секции, м                                | 140        | 120          |
| Наибольший диаметр транспортируемых бревен, мм | 1000       | Не ограничен |
| Масса, кг                                      | 5670       | 3780         |
| Мощность электродвигателя, кВт                 | 30         | 17           |

Подача к рубительным машинам отходов лесопиления, как правило, осуществляется ленточными транспортерами. Для подачи к рубительным машинам отходов лесозаготовок — сучьев, вершинок, ветвей в ЦНИИМЭ разработан специальный транспортер ТГ-2.

#### Техническая характеристика транспортера ТГ-2

|                                        |             |
|----------------------------------------|-------------|
| Тип транспортера                       | тросовый    |
| Диаметр тягового каната, мм            | 12,5        |
| Число параллельных тяговых канатов     | 2           |
| Расстояние между захватами, м          | 2           |
| Тип приводного блока                   | фрикционный |
| Скорость движения тяговых канатов, м/с | 0,5         |
| Тип натяжной станции                   | винтовой    |
| Максимальная длина транспортера, м     | 120         |
| Мощность электродвигателя, кВт         | 4,5         |

**Внутризаводской транспорт мелкого древесного топлива.** Внутризаводской транспорт топливной щепы и опилок осуществляется посредством скребковых, ленточных и винтовых конвейеров и ковшевых элеваторов, а также пневмотранспортными установками.

**Конвейеры скребковые.** Скребковые конвейеры (транспортеры) осуществляют транспортирование сыпучих и мелкокусковых материалов по направляющему желобу посредством скребков, закрепленных на тяговых цепях или тросах,двигающихся со скоростью от 0,3 до 1 м/с.

Кушвинским заводом деревообрабатывающих станков (г. Кушва) серийно выпускается скребковый транспортер ТОЦ-16-4, предназначенный для транспортирования опилок. В ряде случаев этот транспортер используется для перемещения топливной щепы.

#### Техническая характеристика транспортера ТОЦ-16-4

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| Максимальная производительность, м³/ч | 15        |
| Скорость цепи, м/с                    | 0,5...0,8 |
| Длина транспортера, м                 | 40        |
| Расстояние между скребками, мм        | 810       |
| Сечение скребка, мм                   | 50×90     |
| Длина скребка, мм                     | 350...400 |
| Шаг цепи, мм                          | 270       |

Скребковые конвейеры для горизонтального и наклонного (под углом к горизонту не более 45°) транспортирования насыпных грузов изготавливаются Луганским и Карагандинским заводами угольного машиностроения. Они позволяют транспортировать насыпные грузы с размерами кусков, не превышающими 300 мм.

#### Техническая характеристика скребковых конвейеров

| Тип конвейера                       | КСГС-6     | КСГС-8     | КСГС-10    |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|
| Размеры скребка, мм:                |            |            |            |
| ширина                              | 650        | 800        | 1000       |
| высота                              | 250        | 250        | 320        |
| Шаг                                 | 640        | 640        | 800        |
| Шаг цепи, мм                        | 320        | 320        | 400        |
| Скорость движения тяговой цепи, м/с | 0,5...0,63 | 0,5...0,63 | 0,5...0,63 |
| Производительность, т/ч             | 200—250    | 240...310  | 390...490  |
| Мощность двигателя, кВт             | 40         | 75         | 75         |
| Длина конвейера, м                  | 59,2       | 59,2       | 50         |

**Ленточные конвейеры.** Несущим и тяговым органом ленточного конвейера является тканевая прорезиненная лента, скользящая по роликам. По форме сечения ленты ленточные конвейеры подразделяются на конвейеры с плоской лентой и конвейеры с желобчатой лентой. Основные параметры ленточных конвейеров определены по ГОСТ 22644 — 77, технические условия — по ГОСТ 22647 — 77. Ленточные конвейеры применяются для горизонтального и наклонного (с углом к горизонту не более 24°) транспортирования мелкого древесного топлива. Загрузка ленточного конвейера мелким древесным топливом осуществляется через загрузочные воронки или специальные бункера. При подаче измельченной древесины из бункера равно-

мерная загрузка ленты обеспечивается специальными устройствами — дозаторами. Разгрузка ленточных транспортеров осуществляется обычно через головной ведущий барабан в конце ленты и плужковым сбрасывателем (односторонним или двусторонним) в промежуточных пунктах. Предельное значение угла наклона к оси ленты заслонки плужкового сбрасывателя 30...45°. Техническая характеристика ленточных конвейеров общего назначения приведена в табл. 32.

**Конвейеры винтовые (шнеки).** Винтовые конвейеры применяются для горизонтального и наклонного (с углом наклона

32. Техническая характеристика ленточных стационарных конвейеров общего назначения

| Тип конвейера | Производительность, м³/ч |               | Ширина ленты, мм | Длина конвейера, м | Масса, кг |
|---------------|--------------------------|---------------|------------------|--------------------|-----------|
|               | Лента желобчатая         | Лента плоская |                  |                    |           |
| КЛС-400       | 25...80                  | 15...20       | 400              | 23,0               | 506,4     |
| КЛС-500       | 40...150                 | 30...70       | 500              | 39,0               | 1 225,0   |
| КЛС-650       | 63...260                 | 60...125      | 650              | 46,0               | 2 508,0   |
| КЛС-800       | 125...510                | 100...340     | 800              | 49,5               | 4 136,0   |
| КЛС-1000      | 200...800                | 160...500     | 1000             | 95,0               | 14 229,0  |
| КЛС-1200      | 500...1150               | 360...720     | 1200             | 110,0              | 24 645,0  |
| КЛС-1400      | 625...1560               | 490...980     | 1400             | 110,0              | 24 554,0  |

Примечание. Скорость движения ленты в пределах 0,63...2,5 м/с.

к горизонту до 15...20°) перемещения опилок и топливной щепы на расстояние до 30...50 м. Винтовой конвейер состоит из винта (шнека), желоба с полуцилиндрическим днищем и герметической крышкой и приводом винта. Привод винта обычно состоит из клиноременной передачи, редуктора и электродвигателя. Основными параметрами винтовые конвейеры должны соответствовать ГОСТ 2037—82.

Поскольку винт конвейера находится в закрытом желобе, транспортируемый материал изолирован от окружающей среды. Это снижает потери материала и предупреждает распространение в окружающую среду пыли. Технические параметры винтовых конвейеров приведены в табл. 33.

**Элеваторы ковшовые.** Ковшовые элеваторы применяются для транспортирования мелкого древесного топлива в вертикальном или наклонном (с углом наклона к горизонту более 60°) направлениях. Перемещение сыпучего или мелкокускового материала в ковшовом элеваторе осуществляется посредством ковшей, прикрепленных к замкнутому тяговому органу — цепи или ленте. Тяговый орган элеватора монтируется внутри металлического кожуха. Привод тягового органа установлен на верхней части кожуха — головке. Натяжное устройство установлено в нижней части.

33. Основные параметры винтовых конвейеров общего назначения (ГОСТ 2037—82)

| Тип конвейера | Диаметр винта, мм | Шаг винта, мм | Частота вращения винта, мин⁻¹ | Степень заполнения | Производительность, м³/ч | Масса 1 пог. м/кг |
|---------------|-------------------|---------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|
| КВС-2016      | 200               | 160           | 60,0                          | 0,30               | 5,4                      | 97,0              |
| КВС-3225      | 320               | 250           | 60,0                          | 0,30               | 21,0                     | 106,0             |
| КВС-4032      | 400               | 320           | 37,5                          | 0,30               | 28,0                     | 140,0             |
| КВС-5040      | 500               | 400           | 37,5                          | 0,30               | 48,0                     | 160,0             |
| КВС-2016М     | 200               | 160           | 75,0                          | 0,40               | 9,0                      | 54,0              |
| КВС-3225М     | 320               | 250           | 75,0                          | 0,40               | 36,2                     | 78,5              |
| КВС-7032М     | 400               | 320           | 75,0                          | 0,40               | 72,3                     | 116,0             |
| КВС-5040      | 500               | 400           | 75,0                          | 0,32               | 113,0                    | 142,0             |

Скорость движения тягового органа элеваторов изменяется в пределах от 0,8 до 4 м/с. Ковши элеватора изготавливаются четырех типов: Г — глубокие; М — мелкие; О — остроугольные с бортовыми направляющими; С — скругленные с бортовыми

34. Основные параметры ленточных ковшовых элеваторов

| Тип элеватора | Характеристика ковша |                |         | Скорость ленты, м/с | Производительность, м³/ч | Высота, м  |
|---------------|----------------------|----------------|---------|---------------------|--------------------------|------------|
|               | Ширина, мм           | Вместимость, л | Шаг, мм |                     |                          |            |
| ЛМ-160М       | 160                  | 0,35           | 320     | 1,25                | 5,0                      | 6,3...36,2 |
| ЛГ-160М       | —                    | 0,60           | 320     | 1,25                | 8,4                      | 6,3...36,2 |
| ЛМ-250М       | 250                  | 1,40           | 400     | 1,60                | 19,6                     | 6,3...40,0 |
| ЛГ-250М       | 250                  | 2,00           | 400     | 1,60                | 28,0                     | 6,3...40,0 |
| ЛМ-320М       | 320                  | 2,70           | 500     | 1,60                | 30,7                     | 6,3...40,0 |
| ЛГ-320М       | 320                  | 4,00           | 500     | 1,60                | 45,0                     | 6,3...40,0 |
| ЛМ-400М       | 400                  | 4,20           | 500     | 2,00                | 59,0                     | 6,3...40,0 |
| ЛГ-400М       | 400                  | 6,30           | 500     | 2,00                | 80,5                     | 6,3...40,0 |

направляющими. Основные параметры элеваторов должны соответствовать ГОСТ 2036—77. В табл. 34 приводятся основные данные ленточных ковшовых элеваторов.

Основные параметры цепных ковшовых элеваторов

|                             |        |        |        |
|-----------------------------|--------|--------|--------|
| Марка элеватора             | ЦГ-200 | ЦГ-400 | ЦГ-600 |
| Ширина ковша, мм            | 200    | 400    | 600    |
| Шаг ковша, мм               | 400    | 500    | 600    |
| Скорость движения цепи, м/с | 1,25   | 1,71   | 1,04   |
| Производительность, т/ч     | 41,2   | 47,6   | 72,4   |
| Мощность привода, кВт       | 4      | 10     | 17     |
| Масса, кг                   | 1330   | 5620   | 10 450 |
| Высота, м                   | 25     | 25     | 25     |

**Пневмотранспортные установки.** Пневмотранспортными установками осуществляется транспортирование мелкого древесного

топлива по герметическим трубопроводам движущимся потоком воздуха. Производительность пневмотранспортных установок изменяется в пределах от 1 до 300 т/ч при расстоянии перемещения 100...700 м.

Недостатком пневмотранспортных установок по сравнению с механическими транспортерами является более высокий расход электроэнергии.

## 11. БУФЕРНЫЕ СКЛАДЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ МЕЛКОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

### 11.1. ТИПЫ СКЛАДОВ. ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Котельные лесопромышленных предприятий должны обеспечивать непрерывное и надежное снабжение тепловой энергией производственных объектов, социально-культурных и жилых помещений. При работе котельной на привозном твердом или жидком топливе завоз топлива осуществляется периодически. Это вызывает необходимость складирования и хранения определенных объемов топлива. Объем складирования и хранения привозного топлива зависит от конкретных условий его поставки и транспортирования.

При работе котельной лесопромышленного предприятия на древесном топливе в виде дров и древесных отходов имеет место неравномерность их поступления на сжигание в котельную ввиду сменных перерывов в работе цехов, где они образуются, наличия выходных и праздничных дней, задержек в работе внутривозовского транспорта и т. п.

По своему назначению склады топлива можно подразделить на буферные и базисные.

Базисные склады предназначаются для сравнительно длительного хранения топлива в больших объемах. Их устройство обуславливается возможностью по тем или иным причинам длительных перерывов в поставке топлива. Они располагаются на сравнительно большом расстоянии от котельной.

Буферные склады устраиваются в целях обеспечения непрерывной подачи топлива в котельную в течение суток и предупреждения срывов в подаче топлива с базисных складов или из цехов, где оно производится. Эти склады сооружаются в непосредственной близости от котельной на расстоянии равном допустимому противопожарному разрыву. Буферные склады для мелкого древесного топлива подразделяются на закрытые и открытые.

Закрытые склады топлива — это имеющие крышу помещения, где хранимое топливо надежно защищено от действия атмосферных осадков.

Закрытые склады мелкого древесного топлива располагают в районах с суровым климатом, где увлажнение топлива при подаче его к топкам или попадание в топливо снега может вызвать нарушение работы котельной.

Открытые склады мелкого древесного топлива представляют собой площадки с твердым покрытием, оборудованные электрическим освещением и пожарным водопроводом. Топливо на такие склады подвозится автосамосвалами, подается пневмотранспортными установками или другими средствами непрерывного транспорта. Формирование штабелей топлива при этом осуществляется бульдозерами. По площадке открытого склада обычно проходит скребковый транспортер, подающий топливо в котельную.

Открытые склады целесообразно устраивать в районах с теплым и сухим климатом.

По устройству и применяемому оборудованию буферные склады подразделяются на склады с ручной подачей топлива, механизированные и автоматизированные склады. Склады с ручной подачей топлива на транспортер котельной устраиваются только для котельных малой теплопроизводительности.

В механизированных складах подача топлива на транспортер котельной осуществляется при помощи различных механизмов — скреперных установок, шнековых устройств, бульдозеров и т. п. Автоматизированные склады мелкого древесного топлива снабжаются оборудованием с автоматизированной системой управления, обеспечивающей подачу топлива в котельную по заданной программе.

По форме хранилища закрытые буферные склады топлива можно подразделить на склады в виде бункера цилиндрической формы, склады прямоугольной формой и склады А-образной формы. Склады в виде бункера цилиндрической формы применяются для котельных малой мощности. Склады прямоугольной формы строятся для котельных как малой, так и средней мощности. Склады А-образной формы, как правило, используются для средних и больших объемов хранения при необходимости увеличения в будущем мощности котельной.

Потребная вместимость буферного склада котельной зависит от ее мощности, коэффициента полезного действия установленных котлоагрегатов, насыпной плотности топлива и его теплоты сгорания. Обычно при проектировании потребную вместимость буферного склада рассчитывают, исходя из трехсуточного расхода топлива котельной при работе всех котлоагрегатов на номинальной мощности.

Ориентировочно вместимость буферного склада для древесного топлива может быть подсчитана по следующей формуле:

$$V = 2,947 \frac{n_k W_k}{k_{\text{упл}} \Pi \eta_{\text{ка}}},$$

где  $V$  — вместимость буферного склада для мелкого древесного топлива,  $\text{м}^3$ ;  $W_k$  — суммарная мощность установленных котлоагрегатов,  $\text{МВт}$ ;  $P$  — коэффициент полндревесности мелкого древесного топлива;  $\mathcal{E}$  — калорийный эквивалент,  $\text{т усл. топлива/пл. м}^3$ ;  $\eta_{\text{ка}}$  — КПД котлоагрегатов, доли располагаемого

### 35. Расчетный КПД котлоагрегатов в долях располагаемого тепла

| Тип котлоагрегата                                | КПД котла в долях располагаемого тепла | Удельный расход усл. топлива, $\text{кг/Гкал}$ |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| С топкой ЦКТИ системы Померанцева:               |                                        |                                                |
| ДКВр-2,5-13                                      | 0,73                                   | 195                                            |
| ДКВр-4-13                                        | 0,76                                   | 187                                            |
| ДКВр-6,5-13                                      | 0,77                                   | 186                                            |
| ДКВр-10-13                                       | 0,79                                   | 180                                            |
| ВК-6 Братского завода отопительного оборудования | 0,75                                   | 191                                            |
| «Энергия» с топкой ЛВ-154                        | 0,60                                   | 238                                            |
| КЕ-6,5-14МТ                                      | 0,78                                   | 183                                            |
| КЕ-10-14МТ                                       | 0,79                                   | 180                                            |

мого тепла;  $k_{\text{упл}}$  — коэффициент уплотнения щепы в процессе хранения;  $k_{\text{упл}}=1,15$ ;  $n_k$  — число дней работы котельной за счет топлива буферного склада.

Минимальное значение  $n_k$ , принимаемое в расчете, равняется 3 в целях обеспечения непрерывной работы котельной в выходные и праздничные дни. КПД котлоагрегата в долях располагаемого тепла приведен в табл. 35.

### 11.2. УСТРОЙСТВО БУФЕРНЫХ СКЛАДОВ ДЛЯ МЕЛКОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

**Открытые склады.** Открытый склад мелкого древесного топлива обычно представляет собой площадку с твердым покрытием, расположенную от котельной на расстоянии не более допустимого противопожарного разрыва. Обычно по центру площадки склада установлен скребковый транспортер для подачи топлива из склада в котельную. Скребковый транспортер при этом снабжается загрузочной воронкой, через которую в котельную осуществляется при помощи бульдозера подача топлива из куч, сформированных на площадке склада.

Завоз топлива на площадку открытого склада осуществляется автосамосвалами — щеповозами или с помощью средств непрерывного транспорта в случае, если цех, где производится мелкое древесное топливо, находится близко от склада. Для подачи мелкого древесного топлива на транспортер котельной используется бульдозер ДЗ-37 (Д-579) на базе колесного трактора «Беларусь».

Древесное топливо при хранении в открытых складах подвергается воздействию атмосферных осадков, его влажность при подаче в котельную во время осадков существенно возрастает. При подаче топлива на транспортер котельной с помощью бульдозеров требуется непрерывное дежурство бульдозериста в течение всего времени работы котельной. Производительность бульдозера при этом используется не более чем на 20...30 %. Низкая степень использования рабочей силы и

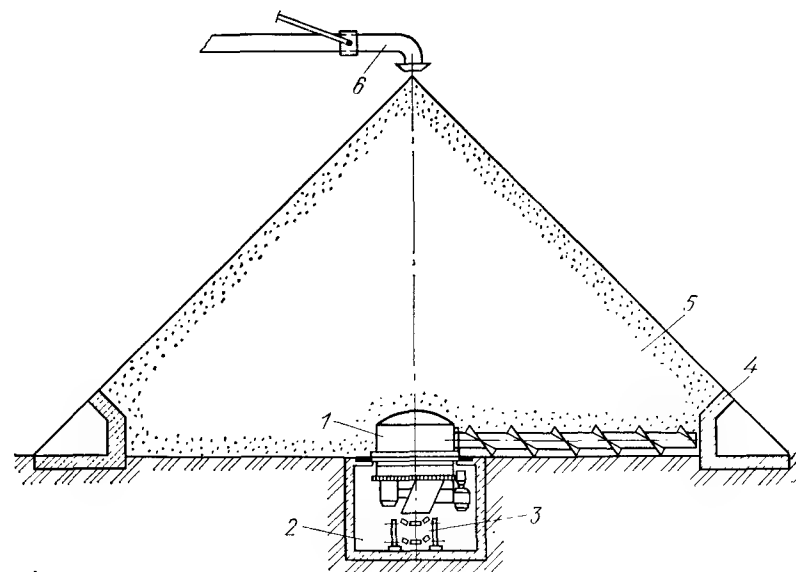


Рис. 53. Схема открытого буферного склада с конической формой штабеля хранимого материала

механизмов на открытых складах с подачей топлива в котельную бульдозерами потребовала изыскания более эффективных технических решений по буферному хранению древесного топлива.

В Скандинавских странах для снижения трудозатрат при буферном хранении топлива применяются различного рода шнековые механизмы. Устройство складов с применением шнековых механизмов может быть различно. На рис. 53 приведена схема открытого склада для хранения мелкой древесины с конической формой штабеля хранимого материала.

В центре склада смонтирован шнековый выгрузчик 1, поворачивающийся посредством специального привода относительно центральной оси склада. Шнековый выгрузчик подает топливо с площадки склада на ленточный транспортер 3, расположенный в бетонной галерее 2 под площадкой склада и



транспортирующий топливо к топкам котлоагрегатов котельной. Мелкое древесное топливо из цехов, где оно производится, подается в склад по пневмопроводу 6. Кольцевая подпорная стенка 4, сделанная из бетона, позволяет увеличить вместимость склада при заданной длине шнека выгрузателя 1 топлива. В некоторых случаях подача топлива в подобный склад производится с помощью скребкового или ленточного транспортера.

Открытые буферные склады с конической формой штабеля 5 применяются для котельной малой производительности, так

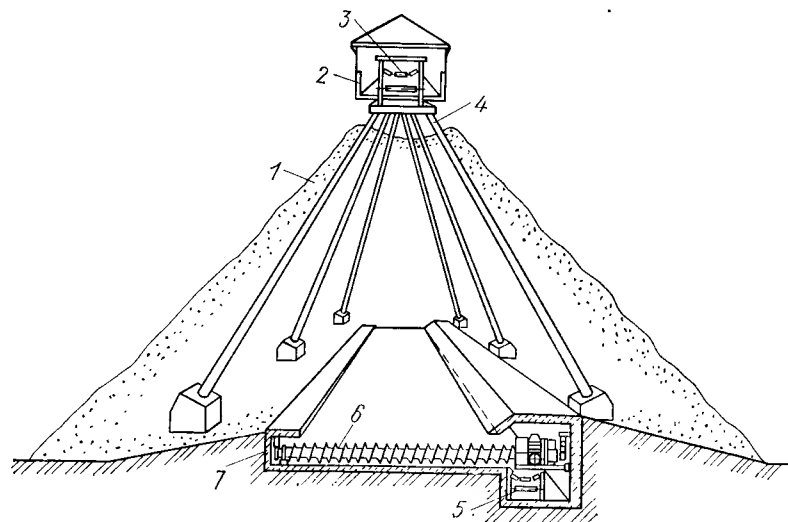


Рис. 54. Схема открытого буферного склада с треугольной формой сечения штабеля

как вместимость склада ограничивается длиной шнека выгрузателя и высотой штабеля.

Большие возможности по увеличению вместимости имеют открытые склады с треугольной формой сечения штабеля хранимого топлива 1 (рис. 54). Вдоль склада по его центру устроен полукрытый железобетонный тоннель 7, в котором движется шнековый выгрузатель 6. Над тоннелем расположена галерея 2, в которой смонтирован ленточный транспортер 3. Галерея ленточного транспортера закреплена на наклонных опорных стойках 4. Топливо в склад подается ленточным транспортером 3 и насыпается в виде кучи по длине склада. Шнековый выгрузатель 6 подает топливо из этой кучи на ленточный транспортер 5, который подает его к топочным устройствам котельной.

Открытые склады применяются в основном для хранения технологической щепы, увеличение влажности которой не имеет при дальнейшем ее использовании существенного значения.

**Закрытые склады.** При хранении топливной щепы и других видов древесного топлива увеличение влажности является крайне нежелательным, равносильным бесполезной утрате некоторой его части. В связи с этим котельные в условиях хо-

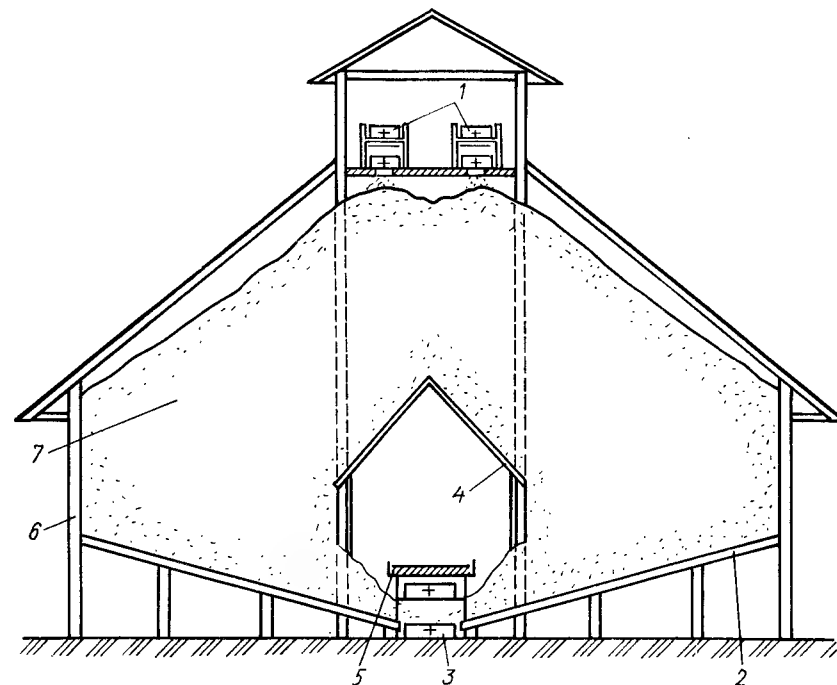


Рис. 55. Схема закрытого буферного склада мелкого древесного топлива с ручной выгрузкой

лодного климата должны иметь закрытые буферные склады (рис. 55).

Мелкое древесное топливо из цехов деревообработки подается двумя верхними скребковыми транспортерами 1 в склад 6 и ссыпается на наклонный пол 2. Посередине склада проходит нижний скребковый транспортер 3, посредством которого топливо 7 транспортируется из склада в котельную. Этот транспортер закрыт сверху колпаком 4, установленным вдоль всего склада. Над транспортером 3 установлен помост 5 для обслуживающего персонала. Рабочий, находящийся на помосте 5, при помощи вил или лопаты обеспечивает подачу топлива на транспортер 3. Наклон пола 2 в сторону транспор-

тера снижает трудоемкость подачи топлива. Распределение топлива вдоль склада осуществляется верхними скребковыми транспортерами 1, имеющими специальные проемы в лотке транспортера, перекрываемые задвижками.

Склады с ручной отгрузкой топлива требуют большого количества обслуживающего персонала. Трудоемкость подачи топлива с такого склада резко возрастает в случае уменьшения запаса хранимого топлива (приходится перемещать топливо почти по всей ширине наклонного пола), поэтому при

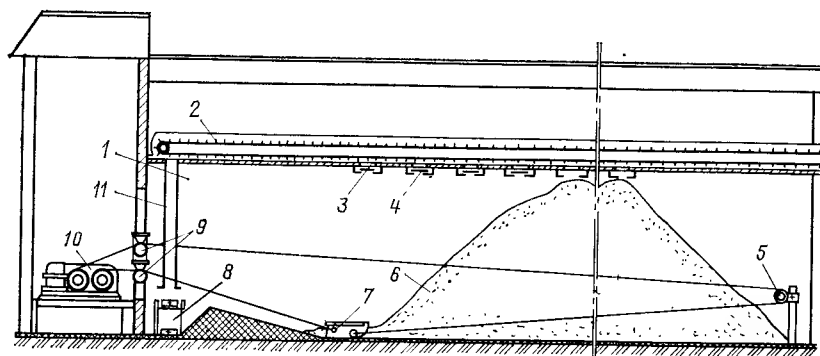


Рис. 56. Схема закрытого буферного склада мелкого древесного топлива с механизированной выгрузкой

эксплуатации склада стремятся держать его по возможности заполненным.

С целью уменьшения трудоемкости выгрузки топлива со склада эту операцию механизуют при помощи скреперных установок. Схема закрытого буферного склада с механизированной выгрузкой топлива при помощи скреперных установок показана на рис. 56. Мелкое древесное топливо 6 из цехов деревообработки подается в здание склада 1 скребковыми транспортерами 2, смонтированными в верхней галерее склада. Топливо перемещается скребками нижней ветви по лотку транспортера. Во время работы цехов оно проходит по лотку до вертикальной точки 11, по которой ссыпается на скребковый транспортер 8, подающий топливо к топкам котлоагрегатов котельной. В случае образования отходов в большем количестве, чем это требуется для работы котлоагрегатов, открываются задвижки 4 проемов 3 лотка транспортера. При этом топливо 6 ссыпается через проемы 3 в помещение склада, где оно хранится. Если подача топлива из цехов прекращается, то для обеспечения работы топок топливо из склада подается на транспортер 8 ковшом 7, приводимым в движение при помощи канатно-блочной системы 9 и двухбарабанной лебедки 10. Для того чтобы была возможность подать топливо из любой

точки склада, блок 5 может перецепляться в разные точки, расположенные по линии перпендикулярной оси склада. В прошлом по этой схеме Гипролестрансом были разработаны типовые проекты буферных складов. Их основные показатели приведены в табл. 36.

Склады древесного топлива со скреперными установками для подачи топлива на транспортеры котельной нашли широкое применение. Однако для их функционирования требуется значительный штат обслуживающего персонала. Перевод этих

36. Основные показатели закрытых складов для древесного топлива, разработанные Гипролестрансом (типовой проект 709—107)

| Тип котельной                                                   | Типовой проект<br>ГЛТ 903-1-37 | Типовой проект<br>ГЛТ 903-1-38 |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Тип котлоагрегатов                                              | ДКВр-6,5-13                    | ДКВр-10-13                     |
| Число котлоагрегатов                                            | 3                              | 3                              |
| Годовая потребность топлива, тыс. пл. м <sup>3</sup>            | 37,0                           | 54,0                           |
| Период, на который предусматривается запас хранимого топлива, ч | 72                             | 72                             |
| Объем хранимого топлива, пл. м <sup>3</sup>                     | 490                            | 750                            |
| Длина склада, м                                                 | 45                             | 63                             |
| Площадь застройки, м <sup>2</sup>                               | 770                            | 1050                           |
| Строительный объем, м <sup>3</sup>                              | 3560                           | 4830                           |

складов на автоматизированный режим работы практически невозможен.

Автоматизация котельных в настоящее время первоочередная задача в развитии теплоснабжения лесопромышленных предприятий. Особое значение эта проблема имеет для котельных малой производительности. Поэтому не случаен интерес, проявляемый многими зарубежными фирмами к вопросам создания автоматизированных буферных складов древесного топлива для котельной малой мощности.

Для котельной малой мощности буферный склад древесного топлива устраивается в пристройке к зданию котельной (рис. 57). Буферный автоматизированный склад 5 располагается в прямоугольной пристройке к зданию котельной. Древесное топливо подается в помещение склада сверху. Внизу пристройки смонтирован шнековый выгрузчик 4. Шнек выгрузчика имеет возможность поворота на 180° относительно места закрепления его привода. Шнековый выгрузчик 4 подает древесное топливо из помещения в приемный бункер наклонного шнекового конвейера 3, доставляющего топливо в загрузочное устройство топки 1.

В ряде зарубежных фирм для котельных, работающих на опилках, применяют буферные склады в виде цилиндрических бункеров с конусом в нижней части (рис. 58). Опилки

загружаются в бункер 2 через загрузочное отверстие 3. В нижней, конической, части бункера установлен поворотный шнековый ворошитель топлива 4, обеспечивающий надежную выгрузку опилок на ленточный конвейер 5. Такие склады применяются многими зарубежными фирмами при мощности котельной не свыше 2...3 МВт. Для более мощных котельных от 3 до

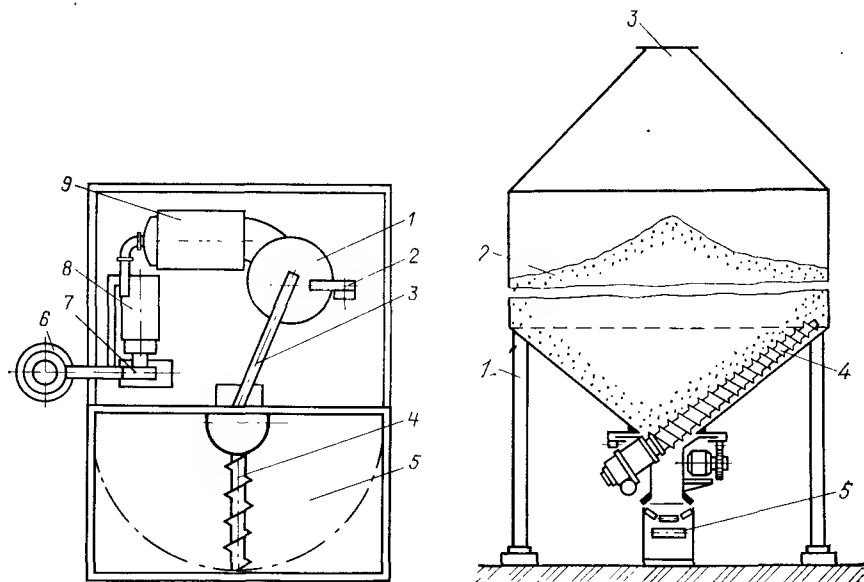


Рис. 57. Схема компоновки оборудования котельной мощностью 1,8 МВт шведской фирмы «Берг и Старк»:

1 — топка; 2 — вентилятор воздушного дутья; 3 — наклонный шнековый конвейер; 4 — шнековый выгрузчик; 5 — буферный склад древесного топлива; 6 — дымовая труба; 7 — дымоход; 8 — очиститель дымовых газов; 9 — водогрейный котел

Рис. 58. Буферный склад для котельных малой мощности, работающих на опилках:

1 — стойка; 2 — цилиндрический бункер; 3 — загрузочное отверстие; 4 — шнековый ворошитель опилок; 5 — ленточный конвейер

8 МВт автоматизированные буферные склады для мелкого древесного топлива устраивают с применением штангово-толковых механизмов с гидравлическим приводом (рис. 59).

Мелкое древесное топливо или кора после отжима из нее влаги с помощью короотжимных прессов транспортером 1 подается в течку ковшового элеватора 2. Ковшовый элеватор 2 поднимает топливо на верх склада и перегружает его на верхний винтовой конвейер 3, распределяющий топливо по всему помещению склада 7. На полу склада смонтированы штанги с траверсами, которым посредством гидравлического привода

сообщается возвратно-поступательное движение. В результате возвратно-поступательного движения траверс выгрузителя 4 нижний слой топлива продвигается по направлению к винтовому конвейеру 5 и ссыпается в лоток этого конвейера, расположенного по краю склада, перпендикулярно направлению движения штанг с траверсами. Винтовой конвейер 5 подает древесное топливо в приемную воронку наклонного вин-

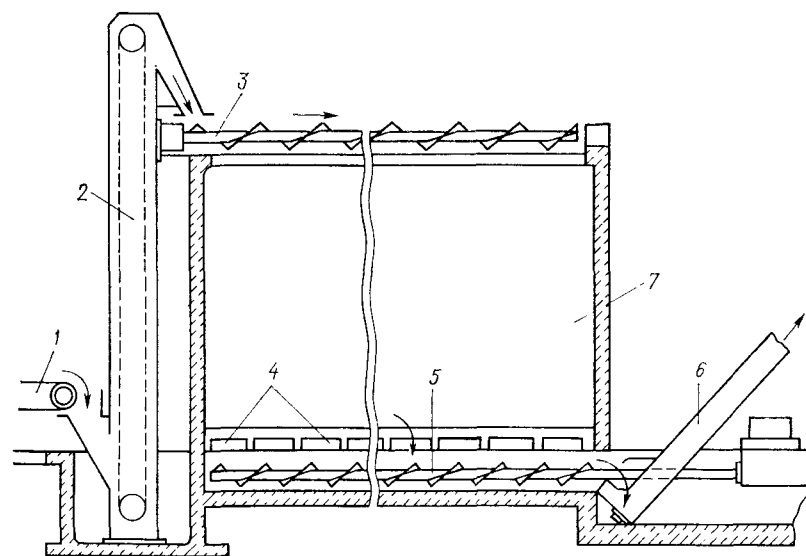


Рис. 59. Схема буферного склада на базе оборудования финской фирмы «Раума-Репола»

тового конвейера 6, транспортирующего топливо к загрузочному устройству топки котлоагрегата.

Как уже указывалось, вместимость буферного склада является функцией тепловой мощности котельной. По данным финской фирмы «Вапор», для древесного топлива эта функция может быть определена следующим образом:

|                                  |     |     |     |     |     |      |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Тепловая мощность котельной, МВт | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 8    |
| Вместимость буферного склада, м³ | 350 | 500 | 650 | 800 | 950 | 1250 |

Буферные склады со штангово-толковыми механизмами всех видов, а также с механизмами, работающими по принципу «подвижного дна», отличаются сравнительно большой металлоемкостью на единицу объема хранимого материала. Масса металла в этих складах почти прямо пропорциональна объему хранимого материала. Поэтому надо полагать, что по

условию приемлемой металлоемкости буферные склады с указанными механизмами выгрузки топлива целесообразно применять для котельных с тепловой мощностью не более 8 МВт.

Для более мощных котельных шведская фирма «Веннберг», специализирующаяся на изготовлении оборудования для скла-

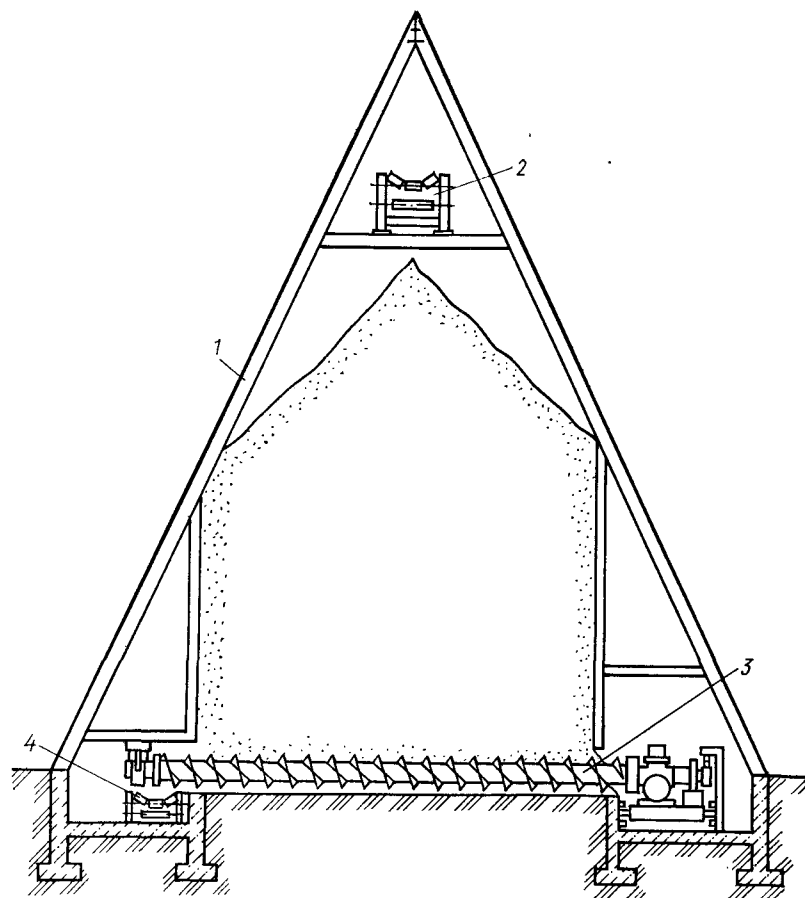


Рис. 60. Буферный склад А-образной формы

дов щепы и мелкого древесного топлива, разработала несколько типов буферных складов полностью автоматизированных при сравнительно малой металлоемкости. Это достигается путем строительства зданий складов из неметаллических материалов с осуществлением выгрузки хранимого топлива из этих складов при помощи шнековых механизмов, перемещающихся вдоль склада. На рис. 60 показана схема устройства

А-образного склада с одним шнековым выгрузителем мелкого топлива.

Здание склада 1 А-образной формы. В верхней части склада смонтирован ленточный конвейер 2, предназначенный для подачи в склад мелкого топлива и распределению его по длине склада. В нижней части склада расположен шнековый выгрузитель 3 топлива, который может перемещаться вдоль

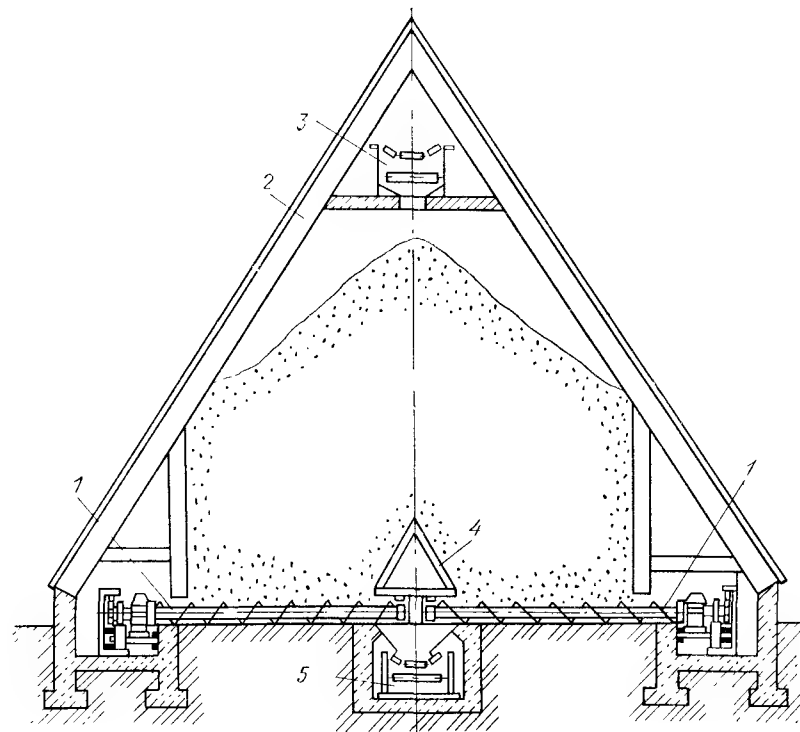


Рис. 61. Буферный склад А-образной формы с двумя шнековыми выгрузителями

склада. При этом перемещении выгрузитель 3 своим шнеком подает топливо на ленточный транспортер 4 несущий его к топкам котлоагрегатов.

Увеличение объема хранимого материала при такой конструкции склада может быть достигнуто увеличением длины склада без увеличения массы металла основного механизма — выгрузителя. Повышение металлоемкости склада при повышении его вместимости в этом случае происходит только за счет увеличения длины направляющих выгрузителя топлива и длины транспортеров и является относительно незначительным по абсолютной величине.

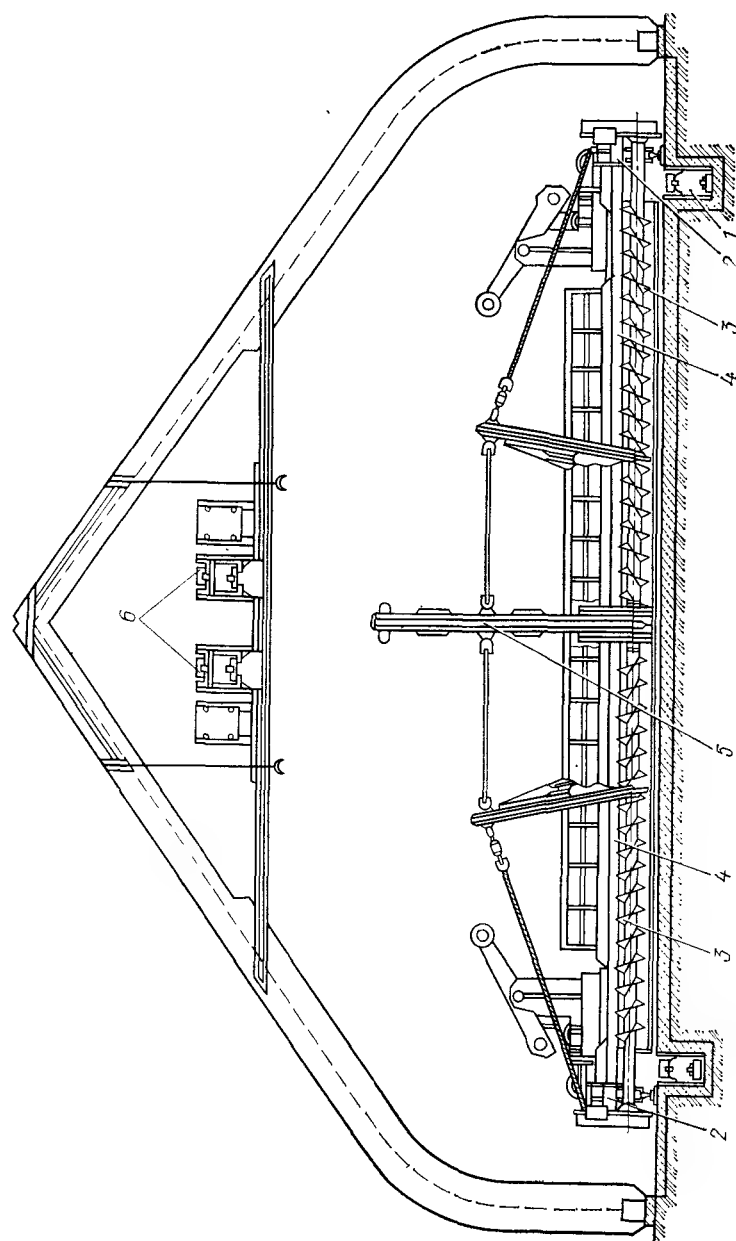


Рис. 62. Схема буферного склада с выгрузителем топлива ТС-44:  
1 — продольные скребковые транспортеры; 2 — тележки; 3 — шнеки; 4 — рама; 5 — рыхлители; 6 — верхние скребковые транспортеры

Для мощных котельных иногда устраиваются буферные склады с двумя шнековыми выгрузателями топлива. Схема такого склада изображена на рис. 61. В А-образном здании склада 2 установлены два шнековых выгрузателя 1, движущихся поступательно вдоль склада. Мелкое древесное топливо подается в склад ленточным транспортером 3 и распределяется им по всей площади склада. По центру склада устроен полуоткрытый тоннель, в котором смонтирован ленточный транспортер 5. Сверху тоннель закрыт по всей длине склада деревянным колпаком 4.

Шнековые выгрузатели 1 подают топливо к центру склада под колпак 4, где оно просыпается на ленточный транспортер, уносящий топливо к топкам котлоагрегатов котельной. Компонировка буферного склада с двумя шнековыми выгрузателями топлива позволяет использовать выгрузатели с меньшей активной длиной шнеков, упрощает конструкцию здания, обеспечивает более высокую надежность работы склада.

В зарубежных странах для выгрузки топлива из склада применяются шнековые выгрузатели, рабочие органы которых (шнеки) работают под слоем топлива и не имеют каких-либо устройств для направления потока выгружаемого топлива. В Советском Союзе разработана конструкция выгрузателя древесного топлива из буферного склада, рабочий орган которого работает в лучших условиях. Схема буферного склада с таким выгрузителем древесного топлива ТС-44 показана на рис. 62. Мелкое древесное топливо подается в склад скребковыми транспортерами 6. По рельсовому пути в складе движется выгрузатель, на раме 4 которого смонтирован шнек 3. Шнек разделен на две части, имеющие различные направления винтовых поверхностей. Правая часть шнека подает топливо от центра на правый продольный транспортер 1, а левая — на левый транспортер. Для обрушения кучи топлива выгрузатель снабжен рыхлителем 5, приводимыми в движение посредством канатно-блочной системы.

### 11.3. МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ПОДАЧИ ТОПЛИВА В БУФЕРНЫЙ СКЛАД

Если буферный склад котельной расположен в непосредственной близости от цехов, в которых производится измельчение древесины в топливную щепу или образуются мелкие древесные отходы, то подача их в буферный склад котельной может быть осуществлена посредством скребковых, ленточных винтовых конвейеров, ковшовых элеваторов или пневматранспортом. Характеристика механизмов этого типа приведена в п. 10.3.2.

Однако во многих случаях котельные расположены на значительном расстоянии от цехов, производящих мелкое древесное

топливо, и его приходится перевозить автомобильным транспортом. Согласно существующим правилам пожарной безопасности заезд автомобилей в крытый склад топлива недопустим. В связи с этим возникает проблема подачи топлива в крытый склад в случае его подвозки к складу автосамосвалами.

Самый простой способ подачи древесного топлива в крытый буферный склад состоит в установке скребкового транспортера, поднимающего щепу в верхнюю галерею склада, и устройстве на его нижней наземной части простейшей загрузки

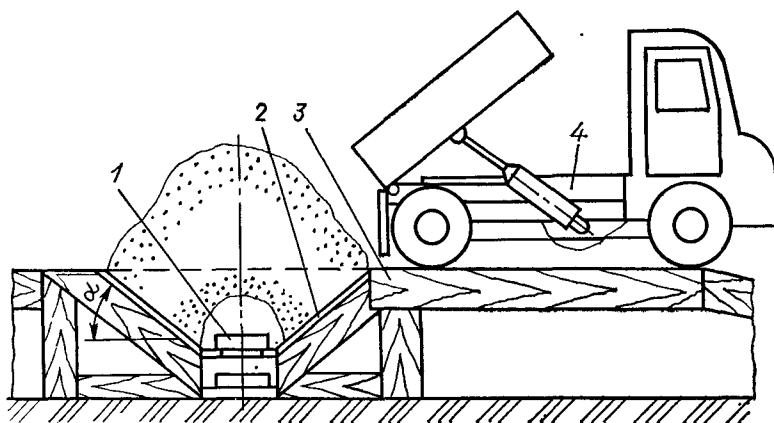


Рис. 63. Схема перегрузки топлива с автосамосвала на скребковый транспортер

зочной воронки (рис. 63). Над лотком транспортера 1 пристраивается воронка 2 и подъезд 3 для захода на него автосамосвала 4. Автосамосвал сгружает топливо в воронку. Однако, как показала практика, подобное устройство не достигает цели, так как топливная щепу имеет малую сыпучесть и зависает над цепью транспортера, образуя свод. Для того чтобы обеспечить сход топлива по такой воронке, приходится разгружать щепу по горизонтальной части подъезда 3 и подавать ее на транспортер при помощи бульдозера. Для этой цели обычно используется бульдозер ДЗ-37 (Д-579) на базе трактора «Беларусь».

**Техническая характеристика бульдозера ДЗ-37 (Д-579) на базе трактора МТЗ-50/52**

|                                |                |
|--------------------------------|----------------|
| Номинальное тяговое усилие, кН | 14             |
| Мощность двигателя, кВт        | 40             |
| Размеры отвала, мм:            |                |
| длина                          | 2100           |
| высота                         | 650            |
| Управление рабочим органом     | гидравлическое |

|                         |      |
|-------------------------|------|
| Габаритные размеры, мм: |      |
| длина                   | 4580 |
| ширина                  | 2000 |
| высота                  | 2485 |
| Масса, кг               | 3600 |

Применение бульдозера на перегрузке древесного топлива с автосамосвалов на скребковый транспортер буферного склада более целесообразно, чем его использование для погрузки этого топлива на транспортер котельной, так как в этом случае производительность его используется в большей мере, поскольку она не ограничивается потреблением топлива топками. В целях сокращения численности обслуживающего персонала

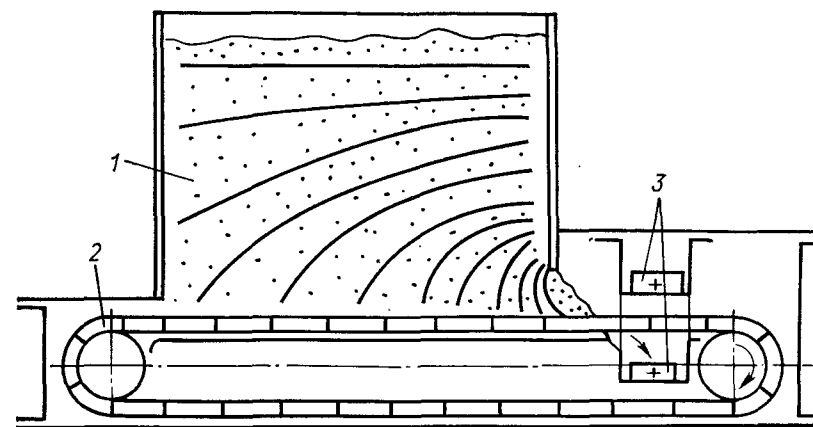


Рис. 64. Схема перегружателя топлива ТС-45

операцию перегрузки топлива с автосамосвалов в буферный склад целесообразно автоматизировать. С этой целью был разработан перегружатель древесного топлива ТС-45 (рис. 64).

Топливо из автосамосвалов загружается в полубункер 1, в нижней части которого движутся цепи со скребками 2, ссыпаящие топливо в нижнюю ветвь скребкового транспортера 3, подающего его в буферный склад котельной.

На Сокольском ЦБК внедрен перегружатель древесного топлива от автощеповозов типа ПС-22 с боковым опрокидыванием кузова. Он состоит из длинного бункера треугольного сечения, на узком дне которого смонтирован шнековый питатель, подающий щепу из бункера в пневмотрубопровод. Воздуходувная машина начинает подавать в пневмопровод воздух, подхватывающий щепу, поступающую из шнекового питателя, и транспортирует ее к месту хранения. Бункер снабжен двумя вибраторами.

#### Техническая характеристика перегружателя топлива ТС-45

|                                            |      |
|--------------------------------------------|------|
| Производительность, нас. м <sup>3</sup> /ч | 85   |
| Тяговое усилие на одной цепи, кН           | 58   |
| Число цепей                                | 2    |
| Шаг скребков, мм                           | 480  |
| Высота скребков, мм                        | 110  |
| Скорость цепей, м/с                        | 0,85 |
| Установленная мощность двигателей, кВт     | 6    |
| Конструктивная масса, кг                   | 8100 |
| Вместимость полубункера, м <sup>3</sup>    | 20   |

#### Техническая характеристика перегружателя щепы Сокольского ЦБК

|                                       |             |
|---------------------------------------|-------------|
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч | 60          |
| Вместимость бункера, м <sup>3</sup>   | 25          |
| Габарит шнекового механизма, мм:      |             |
| длина                                 | 5150        |
| ширина                                | 500         |
| шаг винта                             | 400         |
| Диаметр трубопровода, мм              | 300         |
| Тип воздуходувной машины              | ТВ-250-1,12 |
| Тип электровибратора                  | С-793       |

На Соломбальском ЦБК эксплуатируется перегружатель древесного топлива с автощеповозов с боковым опрокидыванием кузова. На дне бункера установлен мощный пластинчато-скребковый конвейер производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч. Длина конвейера 10 240 мм, длина скребка 1000 мм. Эксплуатация этого механизма показала высокую эффективность и надежность в работе.

Все механизмы для перегрузки щепы с автосамосвалов, упомянутые выше, имеют общий существенный недостаток: они требуют выполнения перед монтажом значительного объема строительных работ. Это обусловлено необходимостью большого заглубления механизма ниже уровня земли или устройства высокого подъезда для автощеповозов. Усилия конструкторов при разработке механизмов для перегрузки щепы с автощеповозов на транспортеры должны быть направлены на создание конструкции перегружателей с минимальными капитальными затратами на устройство подъездов и фундаментов.

#### 11.4. МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ВЫГРУЗКИ МЕЛКОГО ТОПЛИВА ИЗ БУФЕРНОГО СКЛАДА КОТЕЛЬНОЙ

Выгрузка мелкого древесного топлива из буферного склада котельной может производиться механизмами, различающимися как по принципу действия, так и по конструктивному устройству. Все многообразие этих механизмов можно подразделить на ряд видов. Например, по принципу действия механизмы для выгрузки топлива из склада подразделяются на следующие виды: скреперные установки; механизмы, работа-

ющие по принципу «подвижного дна»; шнековые выгрузчики топлива; скребковые выгрузчики топлива.

**11.4.1. Скреперные установки.** Скрепер — это механизированная лопата большой вместимости. В Советском Союзе механизация выгрузки мелкого древесного топлива из закрытых буферных складов осуществляется в основном за счет применения скреперных установок с перемещением рабочего органа канатно-блочной системой. Скреперная установка этого типа состоит из двухбарабанной лебедки, канатно-блочной системы и скреперного ковша. Схема склада со скреперной установкой показана на рис. 56.

Скреперный ковш при помощи канатно-блочной системы подтаскивается к куче топлива. Затем включается рабочий ход лебедки, при котором скреперный ковш загружается топливом и перемещается к пандусу скребкового транспортера, с которого топливо сыпается на нижнюю ветвь транспортера и далее подается этим транспортером к топочным устройствам котельной.

Выгрузка топлива из склада и подача его на транспортер котельной посредством скреперной установки отличается большой надежностью и сравнительно малой стоимостью строительных и монтажных работ. Недостатками этого технического решения является невозможность автоматизации, а следовательно, существенные трудозатраты по данной технологической операции.

**11.4.2. Механизмы, работающие по принципу подвижного дна.** Механизмы, работающие по принципу «подвижного дна», применяются для выгрузки из бункеров и буферных складов котельных малой мощности различных видов топлива, отличающихся высоким коэффициентом внутреннего трения, большим сцеплением между частицами, способностью к зависанию в бункерах и образованию в них сводов, а также топлива, самоуплотняющегося в процессе хранения. Принцип «подвижного дна» обеспечивает надежную выгрузку из бункера с вертикальными стенками практически любого топлива.

Принцип «подвижного дна» заключается в том, что выгрузка материала из бункера или склада осуществляется воздействием на его нижний слой подвижными элементами, расположенными по всей площади дна хранилища. В качестве подвижных элементов применяются винтовые поверхности шнеков, возвратно-поступательно движущиеся траверсы штанг, скребки, закрепленные на движущихся замкнутых цепях, вальцы, барабаны и т. п.

Очень распространенным выгрузителем топлива, работающим по принципу «подвижного дна» является шнековый механизм. Его устройством предусмотрена установка ряда горизонтальных шнеков с параллельными валами, винтовые лопасти которых перекрывают всю площадь дна бункера.

Шнеки приводятся во вращение механическим приводом. Для регулировки скорости выгрузки привод шнеков снабжается электродвигателем, имеющим от трех до четырех ступеней изменения угловой скорости вращения. В целях обеспечения равномерной выгрузки топлива по всему сечению бункера винтовые лопасти шнеков устраивают с переменным шагом винта: шаг винта увеличивается к концу шнека, направленному в сторону выгрузки топлива.

Шнековый механизм «подвижного дна» отличается высокой надежностью работы. Его недостатками является сложность

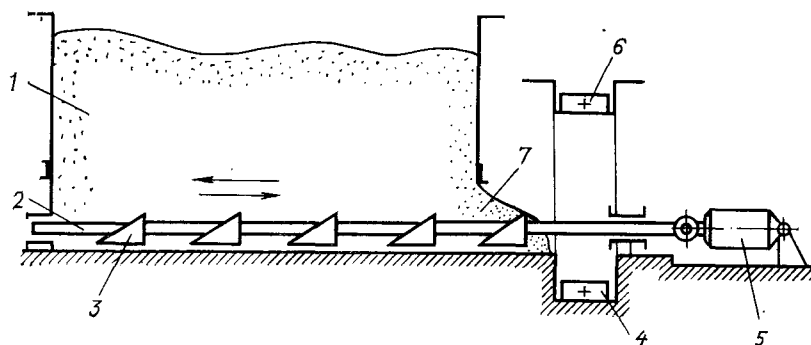


Рис. 65. Принципиальная схема штангово-толчкового выгрузителя топлива

изготовления и высокая металлоемкость. Такой механизм был применен в буферных бункерах-дозаторах энергохимических установок в Крестецком и Опаринском леспрохозах.

В целях уменьшения металлоемкости и сложности изготовления шведские и финские фирмы применяют буферные склады, работающие по принципу «подвижного дна» и снабженные штангово-толчковым механизмом (рис. 65).

Древесное топливо загружается верхним распределительным транспортером 6 в бункер 1. На дне этого бункера смонтированы штанги 2 с поперечными траверсами 3, которые при своем движении перекрывают все поперечное сечение бункера. Штанги 2 приводятся в возвратно-поступательное движение гидроцилиндрами 5. Траверсы 3 имеют сечение треугольной формы, причем вертикальная сторона сечения располагается ближе к выходному проему бункера. При движении штанги по направлению к выходному проему 7 бункера траверсы своей вертикальной плоскостью сдвигают топливо к этому проему. При движении в обратном направлении траверсы своей наклонной поверхностью поднимают топливо вверх и пересыпают его на сторону своей вертикальной плоскости. Таким образом, создается поток топлива по направлению к выходному проему и к нижней ветви скребкового транспортера

4. Скребковый транспортер подает топливо к топочным устройствам. Вместо скребкового транспортера зарубежные фирмы иногда устанавливают винтовой конвейер.

Штангово-толчковый механизм менее надежен, чем выгрузитель со шнековым «подвижным дном», поскольку при обратном движении штанг наклонная поверхность траверсы подает некоторое количество топлива в направлении, обратном потоку топлива, движущемуся к выходному проему. Это явление увеличивается с повышением высоты слоя топлива. Счи-

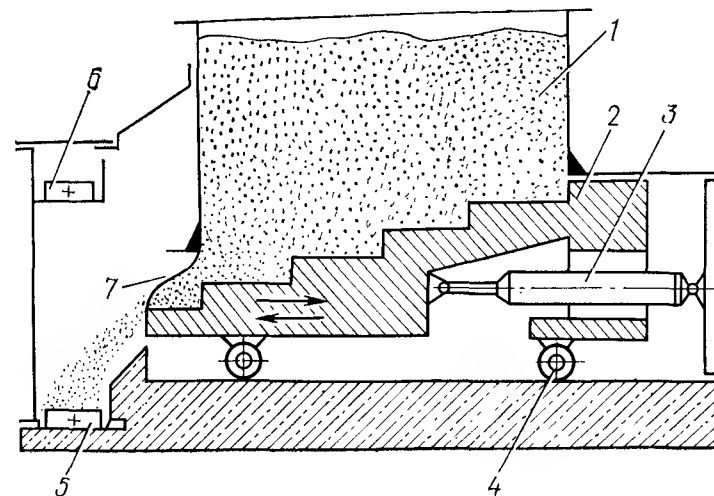


Рис. 66. Принципиальная схема выгрузителя топлива со ступенчатым подвижным дном:

1 — бункер с мелким древесным топливом; 2 — ступенчатое дно; 3 — гидроцилиндр; 4 — опорный каток; 5 — нижняя ветвь скребкового транспортера; 6 — верхняя холостая ветвь скребкового транспортера; 7 — выходной проем бункера

тается, что высота слоя топлива в бункере над штангово-толчковым механизмом не должна превышать 8 м.

В целях предотвращения обратного движения топлива при холостом ходе траверс разработан выгрузитель топлива со ступенчатым подвижным дном (рис. 66). Как видно из рисунка, на дне бункера 1 на катках 4 смонтировано подвижное дно 2 со ступеньками, понижающимися по направлению к выходному проему 7 бункера. Подвижное ступенчатое дно имеет боковые направляющие ролики, исключаящие перекосы при его перемещении (на рисунке не показаны). Ступенчатое дно приводится в возвратно-поступательное движение гидроцилиндром 3. При движении дна по направлению к выходному проему топливо вертикальными плоскостями ступенек перемещается по направлению к нижней ветви скребкового транс-



портера 5. При обратном движении дна топливо ссыпается с крайней ступеньки на нижнюю ветвь транспортера.

Общим для всех механизмов с «подвижным дном» недостатком является высокая металлоемкость на кубометр хранимого материала. Этот недостаток становится заметнее при увеличении потребных объемов хранения, поскольку металлоемкость механизмов с подвижным дном почти прямо пропорциональна объему склада. Поэтому для котельных средней и большой мощности применяются шнековые выгрузатели.

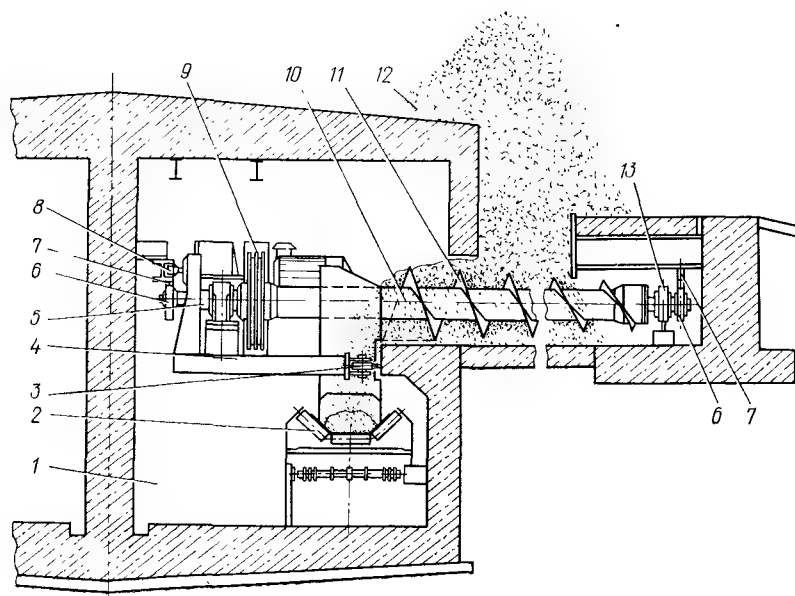


Рис. 67. Схема двухопорного шнекового выгрузателя топлива с поступательным перемещением вдоль склада

**11.4.3. Шнековые выгрузатели топлива.** Наиболее перспективным типом выгрузателей топлива являются шнековые выгрузатели. Шнековые выгрузатели топлива находят широкое распространение в зарубежных странах. Они применяются в буферных складах котельных при широком диапазоне их теплопроизводительности. По характеру движения механизма в складе шнековые выгрузатели топлива можно подразделить на выгрузатели с поступательным движением, монтируемые в складах с прямоугольной формой пола, и выгрузатели с вращательным движением механизмов, монтируемые в складах с круглой формой пола.

По конструкции шнековые выгрузатели топлива подразде-

ляются на двухопорные и консольные. Шнековый двухопорный выгрузатель древесного топлива, поступательно движущийся вдоль склада, показан на рис. 67.

Выгрузатель состоит из шнека, привода шнека 9, вала продольного перемещения, привода вала продольного перемещения и рамы привода 4. Шнек состоит из трубы 10, к которой приварены винтовые 11 лопасти шнека. Диаметр поверхности лопастей переменный, но увеличивается по направлению движения топлива 12. Внутри трубы 10 шнека пропущен вал продольного перемещения 5, на концах которого закреплены шестерни 6. Эти шестерни находятся в зацеплении с зубчатыми рейками 7, смонтированными вдоль склада. Вал продольного перемещения 5 приводится во вращение от специального привода. При вращении вала 5 шестерни его, находящиеся в зацеплении с зубчатыми рейками 7, обеспечивают перемещение механизма вдоль склада. При этом движении механизм перекачивается на роликах 8 и 13 по двутавровой направляющей со стороны привода и по рельсу с противоположной стороны. Вдоль оси шнека, смещение механизма ограничивается направляющим роликом 3. Механизм привода шнека монтируется в бетонном тоннеле 1, вдоль которого проходит ленточный конвейер 2.

Шнек приводится во вращение от механического привода. При вращении шнека его лопасти перемещают мелкое древесное топливо к горизонтальному проему тоннеля и ссыпают его на ленту конвейера 2, транспортирующего топливо к топкам котельной. Шнековые двухопорные выгрузатели топлива выпускаются АО «Леннстрем» (Швеция).

Схема шнекового выгрузателя консольного типа с поступательным движением механизма вдоль склада изображена на рис. 68.

Выгрузатель движется по направляющим в бетонном тоннеле 1. Консольный шнек 4 выполнен в виде полый конической трубы, на которой приварены винтовые лопасти. Имеются отдельные приводы, обеспечивающие вращение консольного шнека и поступательное перемещение вдоль склада. При вращении шнека винтовые лопасти его подают топливо через проем бетонного тоннеля на транспортер 3, подающий его к топочным устройствам.

Применение шнековых выгрузателей древесного топлива АО «Леннстрем» и других зарубежных фирм требует проведения весьма сложных строительных работ, связанных с устройством бетонных тоннелей, обеспечением надлежащей гидроизоляции заглубленных в грунт металлоконструкций и высокой точности монтажа направляющих элементов — зубчатых реек, таврообразных опор и т. п. Выполнение этих работ под силу только высококвалифицированному строительному подразделению.

Для выгрузки топлива из круглых бункеров применяются как двухпорные, так и консольные шнековые выгрузатели.

**11.4.4. Скребокковые выгрузатели топлива.** Принципиальным недостатком большинства конструкций выгрузателей древесного топлива является то, что их рабочий орган—шнек работает под слоем топлива. Это обуславливает большие затраты электроэнергии на его выгрузку. Установлен-

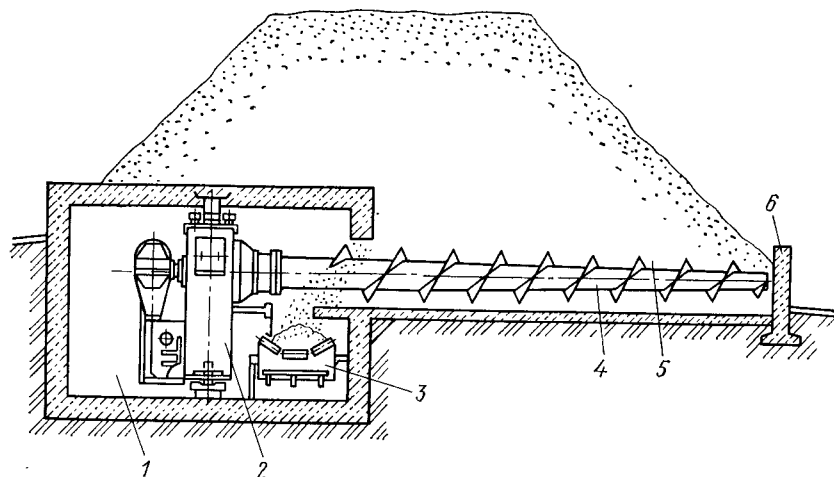


Рис. 68. Схема консольного шнека с поступательным перемещением вдоль склада:

1—бетонный тоннель; 2—приводы шнека и продольного перемещения; 3—транспортер; 4—консольный шнек; 5—мелкое древесное топливо; 6—подпорная стенка

ная мощность электродвигателей шнековых выгрузателей достигает 160...250 кВт.

В целях уменьшения затрат электроэнергии на выгрузку топлива со склада разработаны конструкции скребокковых выгрузателей топлива, у которых рабочие органы (скребки) действуют не под слоем топлива, а поверх его. В качестве примера на рис. 69 показано устройство (патент ФРГ) выгрузателя древесного топлива этого типа. На рельсах, смонтированных вдоль склада по его краям, установлены на катках тележки 2, на которых закреплена ферма 1 выгрузателя, охватывающая с двух сторон кучу мелкого древесного топлива 3, треугольного сечения. На этой ферме шарнирно закреплен скребковый транспортер 4. Длина этого транспортера равна длине основания кучи топлива. Транспортер 4 может поворачиваться при помощи полиспаста 6 и лебедки 7.

При работе транспортера 4 топливо скребками нижней ветви цепи подается на ленточный транспортер 5, который по-

дает его к топкам котлоагрегатов. По мере отгрузки топлива из кучи 3 транспортер поворачивается по направлению к полу склада, а также перемещается вдоль склада посредством механического привода тележек 2.

Недостатком конструкции скребоккового выгрузателя топлива является необходимость непрерывного наблюдения за

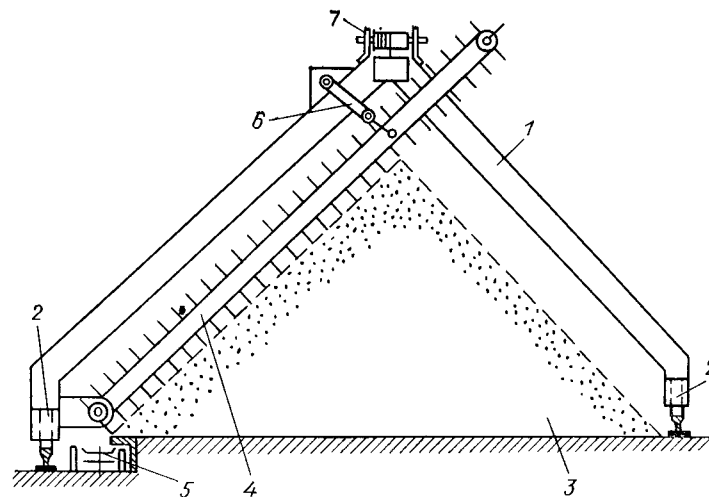


Рис. 69. Принципиальная схема скребоккового выгрузателя топлива

его работой и затрудненность его перевода на автоматизированный режим, что существенно ограничивает область его применения.

## 11.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТОПЛИВОПОДАЧИ

Система автоматизации топливоподачи может быть разделена на две подсистемы:

подсистема автоматизации загрузки мелкого древесного топлива в буферный склад;

подсистема автоматизации выгрузки топлива из буферного склада и подачи его в топливные рукава или другие промежуточные емкости топочных устройств.

Подсистема автоматизации загрузки мелкого древесного топлива может быть запроектирована на общеизвестных, серийно изготавливаемых элементах дистанционного управления и автоматизации. В случае подвозки мелкого древесного топлива к буферному складу котельной щеповозами автоматизированная загрузка топлива в склад осуществляется примерно в следующем порядке:

топливо из кузова автосамосвала ссыпается в полубункер перегружателя топлива; эта операция выполняется водителем, который после ее завершения нажимает кнопку включения подсистемы автоматизации;

водитель после включения системы автоматизации дает звуковой предупредительный сигнал и включает транспортеры, подающие топливо от перегружателя в склад;

механизм выгрузателя топлива включается только после того, как заработает вся система транспортеров;

механизм выгрузателя топлива автоматически останавливается по импульсу, посылаемому специальным датчиком после полного освобождения от топлива полубункера перегружателя;

система транспортеров останавливается после остановки механизма перегружателя топлива с задержкой по времени на интервал, необходимый для того, чтобы все топливо, находящееся на транспортерах, было подано в склад; задержка по времени остановки транспортеров осуществляется при помощи реле времени.

Подсистема автоматизации выгрузки топлива из склада и подачи его в топливные рукава или другие промежуточные емкости топочных устройств также может быть запрограммирована на серийно изготавливаемых элементах автоматизации и дистанционного управления. Автоматизированная подача топлива к топкам осуществляется примерно в следующем порядке:

топливо в топливном рукаве (или другой промежуточной емкости) достигает низшего допустимого уровня, специальный датчик дает импульс, обеспечивающий включение световой и звуковой сигнализации. После чего включаются транспортеры и конвейеры, подающие топливо от выгрузателя топлива к топливному рукаву;

выгрузатель древесного топлива включается и подает топливо на транспортеры;

подача топлива в топливный рукав продолжается до тех пор, пока уровень топлива не достигнет специального датчика, дающего импульс на остановку выгрузателя топлива;

транспортеры останавливаются после выгрузателя топлива с задержкой по времени, необходимой для полного освобождения лотков транспортера от мелкого древесного топлива; это необходимо для того, чтобы пуск транспортеров осуществлялся при минимальной нагрузке; остановка транспортеров осуществляется в последовательности, при которой в первую очередь останавливается ближайший к выгрузателю топлива транспортер.

Наиболее распространенным процессом сжигания мелкого древесного топлива является слоевой процесс. При этом процессе количество сжигаемого топлива, а следовательно, и производительность котлоагрегатов регулируется изменением ко-

личества первичного воздуха, подаваемого на сжигание топлива. Автоматизация управления количеством вырабатываемой тепловой энергии сводится к изменению величины открытия воздушной заслонки первичного дутья и зависит от расхода пара в паровых котлах и выработки тепловой энергии в водогрейных. Автоматическое регулирование вторичного дутья осуществляется в целях обеспечения оптимального коэффициента избытка воздуха. Оно осуществляется применением в качестве датчиков автоматических газоанализаторов, осуществляющих анализ дымовых газов котлоагрегатов.

#### 11.6. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ БУФЕРНЫХ СКЛАДОВ ДЛЯ МЕЛКОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Методическими указаниями по буферному и межсезонному хранению мелкого древесного топлива РД-13-11-7 — 85 [29] предложены типовые схемы буферных складов. Для котельных мощностью до 7 МВт рекомендуется схема механизированного буферного склада (рис. 70). Она предусматривает полную механизацию погрузочно-разгрузочных работ и может быть в основном реализована на серийно изготавливаемом оборудовании.

В составе сооружений буферного склада входит навес 12 для топлива, площадка 8 с твердым покрытием, галерея 10 приемного транспортера и эстакада транспорта котельной 5.

Оборудование склада состоит из подающего скребкового транспортера 15 с приводной 16 и натяжной (на схеме не указана) станциями, скреперной установки и скребкового транспортера 4 котельной с натяжной и приводной 20 станциями.

В состав скреперной установки входят: двухбарабанная лебедка 6, канатно-блочная система 9 и приемная воронка 7 с пандусом 17, ковш 13. Топочные устройства 1 котлоагрегатов 19 котельной снабжены течками 2 для подачи древесного топлива от транспортера 4 в шахты топочных устройств. На течках устанавливаются датчики 3 верхнего и нижнего 18 уровней.

Если котельная расположена в непосредственной близости от цехов, в которых образуются топливные древесные отходы, то подача их в буферный склад должна осуществляться скребковым подающим транспортером 15, проходящим по галерее 10. Лоток транспортера 15 имеет продольную прорезь 14, через которую мелкое древесное топливо просыпается на площадку, находящуюся под навесом 12. По мере заполнения площадки склада прорезь перекрывается топливом и площадка постепенно на всю длину ее заполняется.

Транспортер 15 имеет бункер 11 с шибером, который открывается при переполнении топливом площадки под навесом 12. Топливо из этого бункера периодически выгружается в ку-

зов автосамосвала и отвозится на склад межсезонного хранения мелкого древесного топлива.

В случае, если котельная расположена на большом удалении от цехов, где образуется или производится мелкое древесное топливо, то оно доставляется к котельной автосамосвалами, которые ссыпают его либо непосредственно на площадку под навесом 12, либо на площадку 8 с твердым покрытием. Выгруженное на открытую площадку 8 мелкое древесное топ-

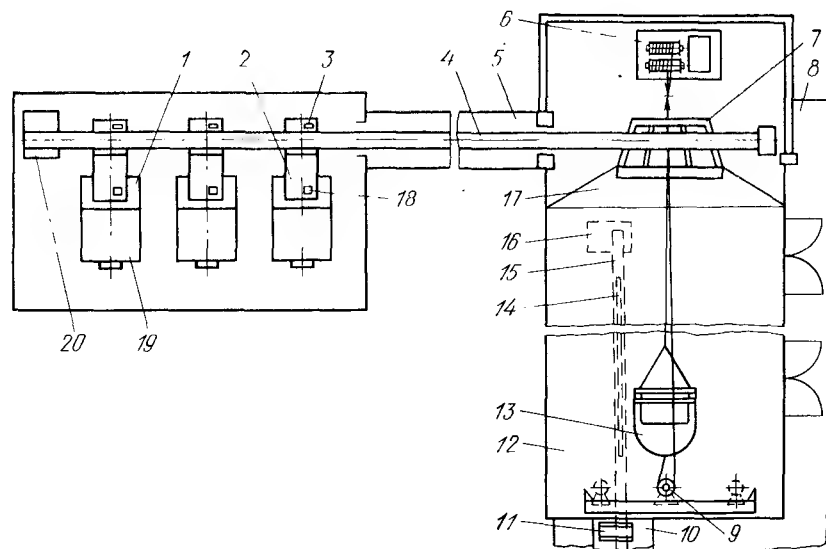


Рис. 70. Схема механизированного буферного склада для котельных мощностью до 7 МВт

ливо во избежание его сильного увлажнения должно окучиваться при помощи бульдозеров в штабеля высотой более 4...5 м. При израсходовании топлива, разгруженного под навесом на площадку, туда подается бульдозером топливо из штабелей, сформированных на площадке 8.

Подача мелкого древесного топлива на транспортер 4 котельной осуществляется скреперной установкой. Скреперный ковш 13 при помощи канатно-блочной системы 9 перемещается на кучу топлива. Затем включается рабочий ход лебедки 6, при котором скреперный ковш захватывает топливо и в нагруженном состоянии перемещается на приемную воронку 7 скреперного транспортера, где топливо ссыпается на нижнюю ветвь транспортера 4 и далее подается этим транспортером в течи 2 топочных устройств 1 котельной.

Объем топливных рукавов или течек топочных устройств для мелкого древесного топлива рекомендуется рассчитывать

из условия, что запас топлива, находящегося в них, должен быть равен часовому расходу топлива данного котла на номинальном режиме работы.

Объем топлива в течках и рукавах определяется по формуле

$$V_{т.р} = \frac{0,1228 W_a}{\eta_{ка} \mathcal{E} П},$$

где  $V_{т.р}$  — объем рукава или течи, м<sup>3</sup>;  $W_a$  — мощность котлоагрегата, МВт;  $\eta_{ка}$  — КПД котлоагрегата в долях;  $\mathcal{E}$  — кало-

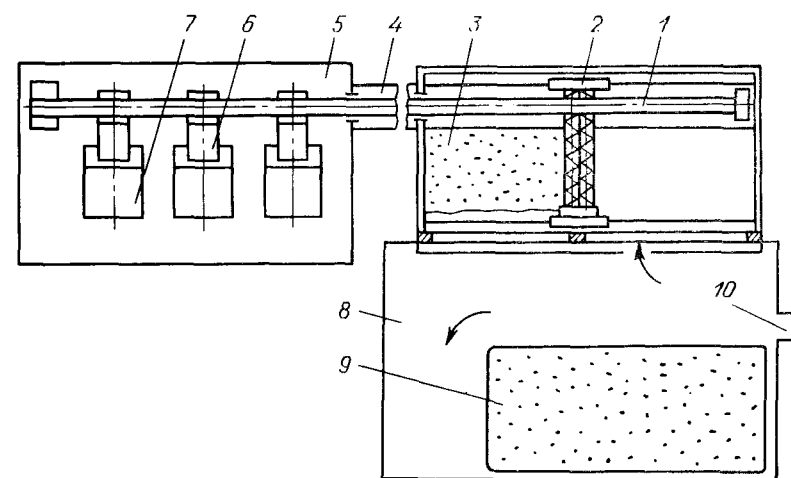


Рис. 71. Перспективная схема автоматизированного буферного склада для котельной мощностью до 7 МВт:

1 — скреперный транспортер котельной; 2 — шнековый выгрузчик древесного топлива; 3 — мелкое древесное топливо; 4 — галерея транспортера котельной; 5 — котельная; 6 — топливный рукав; 7 — котел; 8 — площадка с твердым покрытием; 9 — штабель мелкого древесного топлива; 10 — въезд на площадку

рийный эквивалент древесного топлива, т усл. топл./пл. м<sup>3</sup>;  $П$  — коэффициент полндревесности древесного топлива.

Ширина площадки, с которой может быть отгружено топливо при помощи одной скреперной установки, не превышает 6...7 м, при условии наличия в конце разгружаемой площадки переставляемого блока и устройства для перецепки скреперного ковша.

Перспективная схема автоматизированного буферного склада для котельной мощностью до 7 МВт (рис. 71). Мелкое древесное топливо подается со склада в котельную шнековым выгрузчиком 2 и скреперным транспортером 1. Шнековый выгрузчик движется по рельсовому пути в складе. При надвигании вращающегося шнека на кучу древесного топлива 3 происходит подача топлива на скреперный транспор-

тер 1, направляющий его в котельную 5. Автоматизированный буферный склад котельной по этой схеме должен работать без дежурного обслуживающего персонала.

Загрузка топлива под навес, где движется выгрузатель топлива, производится из штабеля 9 бульдозером 1 раз в 2... 3 суток.

Автоматизированная подача топлива осуществляется следующим образом:

топливо в топливном рукаве или течке достигает низшего допустимого уровня, специальный датчик дает импульс, обеспечивающий включение звуковой и световой сигнализации,

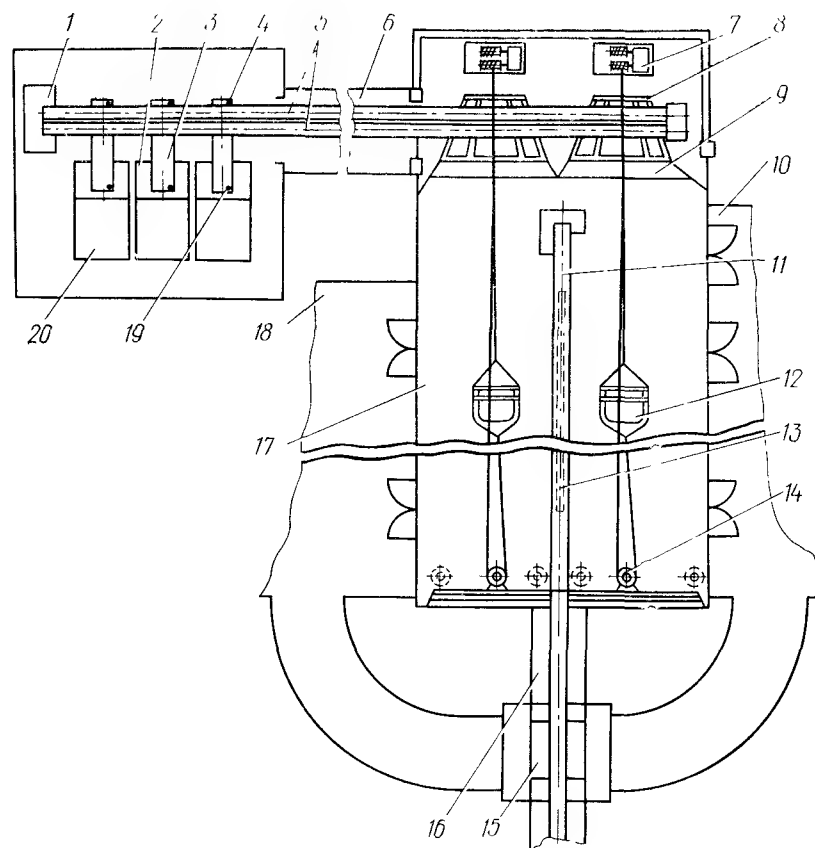


Рис. 72. Схема механизированного буферного склада мелкого древесного топлива для котельных мощностью 7...35 МВт:

1 — приводная станция транспортера котельной; 2 — топка; 3 — течка; 4 — датчик верхнего уровня топлива; 5 — скребковый транспортер котельной; 6 — галерея транспортера; 7 — двухбарабанная лебедка; 8 — приемная воронка; 9 — пандус; 10 и 18 — площадки с твердым покрытием; 11 — подающий транспортер; 12 — скреперный ковш; 13 — прорезь в лотке подающего транспортера; 14 — канатно-блочная система; 15 — датчик нижнего уровня топлива; 16 — галерея транспортера; 17 — навес для топлива; 19 — датчик нижнего уровня топлива; 20 — котел

после чего включается скребковый транспортер 1, подающий топливо к течке или топливному рукаву 6;

выгрузатель 2 топлива, подающий топливо на транспортер 1, включается;

подача топлива в топливный рукав продолжается до тех пор, пока уровень топлива не достигнет специального датчика, дающего импульс на остановку выгрузателя 2 топлива;

транспортер останавливается после выгрузателя топлива с задержкой по времени, необходимой для полного освобождения лотка транспортера от топлива; это необходимо для того, чтобы пуск транспортера осуществлялся при минимальной нагрузке.

Схема механизированного буферного склада мелкого древесного топлива для котельных мощностью от 7 до 35 МВт (рис. 72). Схема предполагает установку двух скреперных лебедок, двух скребковых транспортеров, обеспечивающих подачу к топкам необходимого количества топлива.

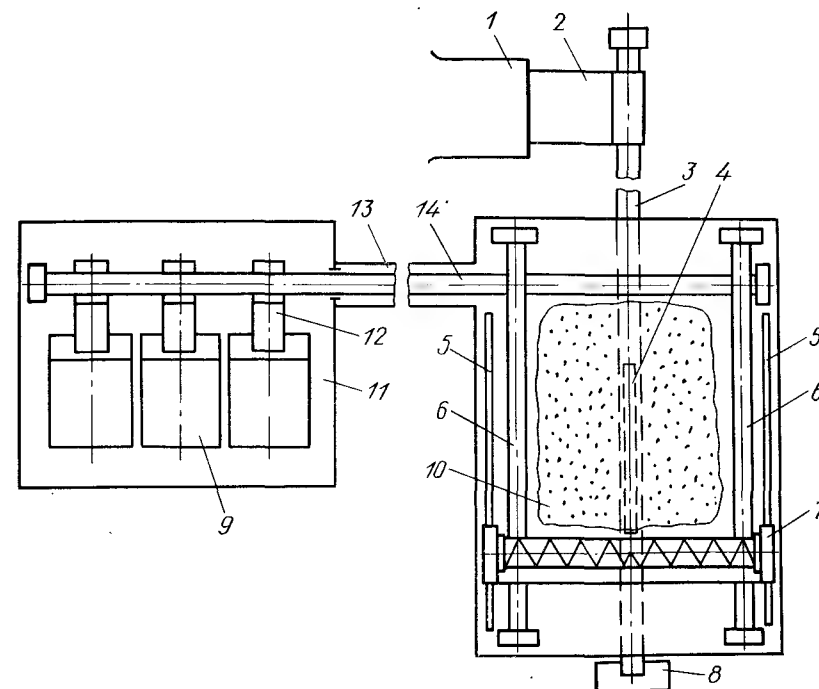


Рис. 73. Перспективная схема автоматизированного буферного склада для котельных мощностью от 7 до 35 МВт:

1 — подезд к перегружателю ТС-45; 2 — перегружатель мелкого древесного топлива ТС-45; 3 — верхний подающий транспортер; 4 — прорезь в лотке подающего транспортера; 5 — рельсовый ход ТС-44; 6 — боковой продольный транспортер; 7 — выгружатель мелкого древесного топлива ТС-44; 8 — приводная станция подающего транспортера; 9 — котлоагрегат; 10 — мелкое древесное топливо; 11 — котельная; 12 — топливный рукав; 13 — галерея скребкового транспортера котельной; 14 — скребковый транспортер котельной

Подача топлива под навес предусмотрена либо с двух при- складских площадок 10 и 18 при помощи бульдозера, либо верхним подающим скребковым транспортером 11, в лотке ко- того устроена прорезь 13, позволяющая распределить топ- ливо по длине склада. Транспортер имеет бункер 15 с шибе- ром, обеспечивающим возможность отгрузки древесного топ- лива в склад межсезонного хранения при переполнении площадки под навесом 17. Забор топлива по всей площади хра- нения при помощи скреперных установок обеспечивается пере- становкой концевых блоков и перецепкой скреперного ковша.

**Перспективная схема автоматизированного буферного склада для котельной мощностью от 7 до 35 МВт (рис. 73).** Мелкое древесное топливо подвозится автосамосвалами с объ- емом кузова не более 20 м<sup>3</sup> и разгружается в полубункер пе- регружателя древесного топлива ТС-45. В нижней части полу- бункера перегружателя 2 движутся цепи со скребками, ссы- пающие топливо на нижнюю ветвь скребкового подающего транспортера 3, который подает топливо до прорези 4, нахо- дящейся в лотке транспортера. Через эту прорезь топливо по- ступает на площадку закрытого склада. По рельсовому пути 5 в складе движется выгрузатель 7, на раме которого смон- тирован шнек. Шнек разделен на две части, имеющие различ- ные направления винтовых поверхностей. Правая часть шнека подает топливо на правый продольный транспортер 6, а ле- вая — на левый транспортер. Продольные транспортеры пере- грузают топливо на транспортер 14 котельной, доставляющий топливо к топливным рукавам 12.

Для обрушения топлива 10 из кучи выгрузатель ТС-44 снабжен рыхлительными, приводимыми в движение посредст- вом канатно-блочной системы.

## 12. СКЛАДЫ МЕЖСЕЗОННОГО ХРАНЕНИЯ МЕЛКОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

### 12.1. НАЗНАЧЕНИЕ СКЛАДОВ МЕЖСЕЗОННОГО ХРАНЕНИЯ

Особенностью системы централизованного теплоснабжения лесозаготовительных предприятий является малая доля расхо- дования производимой тепловой энергии на технологические цели. В основной своей части тепловую нагрузку котельных составляет тепло, расходуемое на отопление производственных зданий, жилых и социально-бытовых помещений. В связи с этим тепловая нагрузка на котельные носит явно выражен- ный сезонный характер. Летом тепловая нагрузка на котель- ную минимальна по величине, зимой же имеет место явно вы-

раженный максимум потребности в тепле, а следовательно, и в топливе для котельной.

Зимний максимум тепловых нагрузок котельных лесозаго- товительных предприятий приходится на самые холодные месяцы года — декабрь и январь. Как правило, древесных от- ходов в эти месяцы для котельных не хватает. На предприя- тиях, работающих с технологией, предусматривающей вывоз- ку на нижний склад деревьев в холодные зимние месяцы ко- личество лесосечных отходов резко уменьшается. На морозе древесина становится хрупкой и большая часть ветвей и сучьев отделяется от деревьев при ударе их о грунт при валке и остается на лесосеке. Выход лесосечных отходов при вы- возке деревьев в эти месяцы не превышает по указанной при- чине 4% общего объема вывозки.

Производство топливной щепы из низкосортной и дровяной древесины в холодные зимние месяцы затруднено, так как замороженная древесина обладает повышенной прочностью. При измельчении такой древесины повышается расход энер- гии в расчете на кубометр щепы, снижается производитель- ность труда рабочих, занятых на приготовлении щепы, быстро затупляются и выходят из строя ножи рубительных машин.

В летний период древесных отходов в лесозаготовительных предприятиях обычно образуется больше, чем требуется для обеспечения топливом работы котельной. Это обусловлено тем, что в летние месяцы тепловая нагрузка котельных резко уменьшается, цеха деревообработки, где образуются отходы, имеют более высокую программу производства, а выход лесосечных отходов при вывозке деревьев увеличивается, доходя в отдельных случаях до 14% объема вывозимой древесины.

Во многих предприятиях излишки древесных отходов, об- разовавшихся в летнее время, вывозятся в отвалы. В отвалах скапливаются постепенно большие объемы мелких древесных отходов. При длительном времени нахождения мелкой древе- сины в отвалах она под действием гнилостных бактерий и грибов разрушается, выделяя при этом различные токсичные вещества, которые вымываются из отходов поверхностными водами, загрязняя при этом почву, водоемы, ручьи и реки. Ущерб, наносимый при этом природе, трудно оценить. образо- вание отвалов мелких древесных отходов недопустимо как по экологическим требованиям, так и по соображениям необхо- димости экономии топливных ресурсов. В отвалах мелких дре- весных отходов безвозвратно теряется древесная биомасса, которая может быть эффективно использована в энергетиче- ских целях и является одним из ценных видов топливных вто- ричных энергетических ресурсов. На вывозку летом мелких древесных отходов в отвалы предприятия несут дополнительно бесполезные трудовые и денежные затраты. При вывозке в летнее время отходов в отвалы в зимние месяцы приходится

измельчать в топливную щепу стволую древесину, которая может быть использована для производства технологической щепы или для других видов технологической переработки.

Строительство складов для межсезонного хранения мелких отходов преследует, если исходить из вышеизложенного, следующие цели:

вовлечь в топливный баланс лесозаготовительных предприятий дополнительные объемы вторичных топливных энергетических ресурсов;

обеспечить требования экологии по охране окружающей среды;

повысить степень полезного использования заготавливаемой древесины путем замены в зимнее время стволую древесину, используемой на топливную щепу, древесными отходами со склада межсезонного хранения;

ликвидировать бесполезные затраты труда и денежных средств на вывозку мелких древесных отходов в отвалы, а также на производство топливной щепы из стволую древесины в зимнее время в том же объеме;

преодолеть зимний максимум тепловых нагрузок за счет более сухого древесного топлива, поступающего со склада межсезонного хранения.

## 12.2. КУЧЕВОЕ ХРАНЕНИЕ ЩЕПЫ И МЕЛКИХ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Склады межсезонного хранения мелких древесных отходов должны предусматривать объемы хранимого материала, исчисляющиеся тысячами, а в некоторых случаях десятками тысяч насыпных кубометров. Естественно, что при столь больших объемах хранения строительство закрытых складов потребует огромных капитальных затрат, которые могут существенно снизить экономическую эффективность строительства и внедрения складов межсезонного хранения. В связи с этим межсезонное хранение древесных отходов должно осуществляться в открытых складах при минимальных расходах на их строительство с использованием большого опыта, накопленного в этой области на целлюлозно-бумажных предприятиях по хранению технологической щепы.

Хранение технологической щепы в больших кучах на открытом воздухе стали впервые широко применять в 30-х годах в связи с широким использованием для производства целлюлозы и бумаги отходов лесопиления и деревообработки. Этот способ хранения щепы позволяет снизить производственные затраты на лесных биржах целлюлозно-бумажных предприятий и получает в настоящее время все более широкое распространение при производстве технологической щепы в лесопромышленных предприятиях.

Хранение древесной щепы на открытом воздухе в больших кучах, приводит к возникновению внутри их объема совершенно новых условий, в корне отличающихся от условий хранения различного рода круглых сортиментов древесины и крупных кусковых отходов.

Подобно другим растительным материалам (углю, торфу, селу, зерну и т. п.) большие массы древесной щепы, сложенной в кучи, обладают способностью к самопроизвольному нагреванию. Как установлено, для растительных материалов спонтанное нагревание их при хранении в больших кучах является результатом жизнедеятельности бактерий и грибов.

Нагревание мелкой древесины в кучах, по-видимому, также обусловлено деятельностью грибов и микроорганизмов, во всяком случае в самом начале процесса разогрева. Общеизвестно, что такие материалы, как зерно и сено, разогреваются в кучах только в том случае, если их влажность превышает какую-то определенную величину. Сухое сено и зерно могут храниться в кучах неограниченное время даже без признаков нагревания. По данным некоторых ученых, занимавшихся изучением процессов, происходящих в кучах технологической щепы, рост грибов прекращается за пределами влажности древесины от 22 до 55 %.

Таким образом, когда поверхность древесины достигнет значения, близкого к влажности воздушно-сухой древесины, грибки, вызывающие нагревание древесины, впадают в состояние анабиоза, в котором и находятся до тех пор, пока влажность древесины не увеличится до величины, благоприятной для их жизнедеятельности.

Если поверхность частичек древесины омывается атмосферным воздухом, то они за сравнительно короткий срок высыхают, и условия существования на этой поверхности грибов становятся для них неблагоприятными, рост их прекращается, несмотря на то, что внутренние слои древесных частиц имеют большую влажность, при которой возможна активная жизнедеятельность грибов.

При укладке древесных частиц в кучу воздух, находящийся в зазорах между частицами внутри кучи, быстро насыщается влагой, испарение влаги с поверхности частиц прекращается и поверхность частиц сравнительно быстро приобретает влажность, близкую к средней влажности частицы. Повышение влажности поверхности древесных частиц внутри кучи создает благоприятные условия для жизнедеятельности грибковых образований и микроорганизмов. В результате происходит сравнительно быстрое разогревание внутреннего объема кучи.

Научными сотрудниками СевНИИП изучалось влияние открытого кучевого хранения на качество щепы. В течение августа — декабря была заложена опытная куча сосновой щепы.



Площадки для складирования щепы засыпали древесными отходами и слоем шлака толщиной 15 см. Длина кучи составляла 50 м, высота 10...12 м, ширина основания 20 м и ширина вершины кучи 6...8 м, объем кучи 7,5 тыс. м<sup>3</sup>. На 10-й день хранения на высоте 6,6 м от основания температура внутри кучи достигла 55°С. К концу 3-го месяца хранения температура начала снижаться по всему объему кучи и примерно через 5...6 мес составила 40°С.

Надо полагать, что снижение температурного уровня кучи хранимой щепы имеет место вследствие двух причин. Во-первых, температура внутри кучи достигает такого высокого уровня, при котором грибки и микроорганизмы погибают. Во-вторых, понижение температуры по всему объему кучи может быть обусловлено снижением влажности древесины в центральной части кучи, при которой рост грибов приостанавливается. По всей вероятности, возможно также одновременное действие обоих факторов с различной интенсивностью для различных видов микроорганизмов и грибов. В кучах разогретой щепы были обнаружены термофильные виды бактерий, выдерживающих температуру до 60°С. При этом зарегистрированы случаи повышения температуры до 67...88°С. Это не может быть объяснено жизнедеятельностью живых организмов. По-видимому, в нагретой щепе в присутствии водяных паров кислорода и углекислоты происходят химические реакции, протекающие с выделением тепла.

Наиболее вероятными являются реакции окисления смолистых веществ, лигнина и целлюлозы, а также реакции деацетилирования гемицеллюлоз, сопровождающиеся выделением уксусной кислоты.

Для изучения влияния длительности хранения щепы на ее качество в штате Джорджия (США) были заложены опытные кучи сосновой щепы в конце мая (летняя куча) и в середине декабря (зимняя куча). Одновременно с зимней кучей был заложена опытная штабель из неокоренных балансов. Щепу складировали на площадке 30×15 м, высота кучи 2,74 м, ширина штабеля по основанию 12 м с естественным углом наклона боковых поверхностей. Замеры температуры на глубине 0,92 м от вершины кучи летнего хранения показали, что в течение первых 2 нед. температура повысилась до 60°С, в продолжение последующих 2 нед. снизилась до 49°С, а затем медленно понизилась к концу 5-месячного срока хранения до 38°С. Температура окружающего воздуха почти не оказывает влияния на температуру внутри кучи.

В центре кучи зимнего хранения температура также быстро повышается до 61°С в течение первых 2 нед. Заметное влияние в дальнейшем на температуру внутри кучи оказывает температура окружающего воздуха. Влажность щепы в центре кучи как зимнего, так и летнего хранения в продолжение пер-

вого месяца уменьшается до  $W^p=40\%$ . Влажность неокоренных балансов снизилась за 12 мес хранения с 48 до 33%.

При хранении щепы в кучах в течение 4...6 мес. потери древесины составляют в среднем около 5%. Показатели хранения щепы из еловой древесины аналогичны показателям хранения сосновой щепы. При хранении березовой щепы, температура повышается быстрее и доходит до 70°С.

Интересные результаты были получены Г. М. Михайловым по кучевому хранению щепы из отходов лесозаготовок в Крестецком леспромхозе. Щепа, полученная из отходов лесозаготовок (ветвей, сучьев, вершин), содержит примеси зеленой массы в виде хвои и листьев, значительный процент коры, а также частицы неокоренных побегов, что отличает ее от щепы из стволовой древесины [19]. Для исследования кучевого хранения щепы на территории Крестецкого леспромхоза было заложено пять куч из несортированной щепы, полученной на барабанной рубильной машине. Кучи закладывали высотой от 2 до 4 м на земляном, бетонном или деревянном основании (из отходов лесопиления толщиной 0,5 м). Щепа имела приблизительно следующий состав: хвои и хвойных лапок 15%, коры 25, древесины 58, минеральных включений 2%. Наибольшая температура в начале хранения щепы была на глубине от 50 до 150 см от вершины кучи и достигала 65°С. Влажность щепы в наружном слое толщиной 25...60 см сначала повышалась до  $W^p=65...70\%$  и затем стабилизировались на этом уровне. Повышение влажности в верхнем слое объясняется воздействием атмосферных осадков и перемещением влаги из нижних слоев к верхним в результате разогрева щепы в нижней центральной части кучи. На глубине 1,2...1,5 м влажность щепы уменьшается в процессе сушки до  $W^p=18...22\%$ , т. е. приблизительно соответствует влажности воздушно-сухой древесины.

Первые признаки появления грибов обнаружены после 3-месячного хранения на глубине 10...50 см от поверхности. Визуальный осмотр показал, что поверхностная влажная щепа имеет буроватый цвет, а внутренняя, сухая — светлый. С увеличением срока хранения благоприятные условия для развития грибов распространяются на большую глубину, объем щепы, пораженной грибами, увеличивается. После 2-летнего хранения почти весь поверхностный слой щепы толщиной 50...60 см был поражен грибами.

Для определения характера процессов хранения щепы из лесосечных отходов в больших кучах в апреле—сентябре была заложена куча высотой 8 м, длиной 120 м и шириной у основания 15...25 м. Формировали кучу, наезжая на нее автосамосвалами, а затем разравнивая и уплотняя щепу бульдозером. В процессе формирования кучи вели систематические наблюдения за температурой щепы, которая на глубине 1,5 м от вершины кучи доходила до 80°С.



В декабре у подножия кучи была замечена проталина на снегу, затем пошел дым и появилось пламя. Это место было залито водой и зарыто бульдозером. На следующий день в том же месте замечено пламя, а из большей части кучи шел дым. Кучу пришлось разобрать бульдозером. Во время разборки щепа местами вспыхивала при соприкосновении с атмосферным воздухом. Температура на отдельных участках кучи составляла 70...90°С, а в центре кучи доходила до 260°С. В марте был сделан разрез оставшейся части кучи, температура щепы в которой была в пределах 75...90°С. Щепа в куче была в разных состояниях, а на разрезе различались отдельные ее слои: замороженная, свежая, подсыхая (влажность  $W^p=17\%$ ), светло-бурая (влажность  $W^p=7,4\%$ ), темно-бурая (влажность  $W^p=52,5\%$ ), бурая (влажность  $W^p=62,8\%$ ).

По-видимому, самовозгорание щепы из лесосечных отходов в большой куче протекает в следующем порядке: первоначальное нагревание щепы происходит за счет жизнедеятельности грибов и других микроорганизмов, при повышении температуры выше допустимого для грибов предела продолжают свою деятельность только термофильные бактерии. Дальнейший подъем температуры происходит в результате окислительных реакций и реакции распада древесины, протекающих с выделением тепла.

Для того чтобы определить мероприятия, необходимые для предупреждения самовозгорания щепы из отходов лесозаготовок при ее длительном хранении в кучах на открытом воздухе, следует установить предварительно условия, способствующие самовоспламенению щепы.

По общему мнению, в соответствии с данными экспериментов, наличие в щепе примесей зеленой массы в виде хвоя, листьев, неодревесневших побегов и коры способствует более быстрому росту температуры внутри кучи щепы, а также достижению более высокой конечной температуры. На этом основании можно сделать вывод, что примеси зеленой массы увеличивают вероятность самовозгорания.

Несортированная щепа с наличием очень мелких частиц древесины, щепа в смеси с опилками и стружками более склонна к самовоспламенению, чем сортированная щепа. Это, по-видимому, обусловлено тем, что при наличии в щепе мелочи существенно увеличивается поверхность частиц, заключенных в единице объема, что свидетельствует об увеличении области действия грибов и микроорганизмов в единице объема и, следовательно, о повышенном тепловыделении и увеличении конечной температуры внутреннего слоя щепы. Степень уплотнения щепы в кучах при хранении оказывает на процессы, там происходящие, весьма сложное противоречивое влияние. С одной стороны, при уплотнении щепы поверхность частичек ее, заключенных в единице объема, увеличивается, что безусловно способ-

ствует повышению температуры внутри кучи. С другой стороны, проникновение кислорода в уплотненную щепу затрудняется, что снижает темп окислительных реакций и жизнедеятельность микроорганизмов, большинство из которых являются аэробными. В связи с указанным вероятность самовозгорания уплотненной щепы снижается. Общеизвестно, что с целью уменьшения возможности самовозгорания торфа принимают все меры, чтобы не допустить по возможности проникновение кислорода внутрь его штабелей, заложенных на хранение.

Недопустимо при формировании куч, укладываемых на хранение, попадание в них металлических предметов. Металлы

### 37. Зависимость температуры слоя опилок от срока хранения

| Расстояние от поверхности кучи до точки измерения, м | Температура, °С, при сроке хранения |         |         |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|
|                                                      | 4...6 мес                           | 2 года  | 5 лет   |
| 1,22                                                 | 38...43                             | 34...37 | 36      |
| 2,44                                                 | 49...53                             | 43...48 | 36...37 |
| 3,66                                                 | 54...58                             | 51...53 | 36...37 |
| 4,88                                                 | 67...73                             | —       | —       |

оказывают каталитическое воздействие на экзотермические процессы, происходящие в кучах щепы, способствуют местным повышению температуры и самовозгоранию куч щепы. Недопустимо на складах межсезонного хранения применение каких-либо металлических конструкций, постоянно соприкасающихся со щепой.

**Кучевое хранение опилок.** При кучевом хранении опилок, как и при хранении щепы, наблюдается самопроизвольное нагревание внутренних слоев кучи опилок. Наивысшая температура в кучах опилок наблюдается на 4...6-й мес хранения. Температура влажных опилок, хранящихся в кучах, характеризуется данными табл. 37.

Таким образом, максимальная температура имеет место в местах, наиболее удаленных от поверхности кучи. После 4...6 мес хранения температура постоянно снижается. Замедление процессов разогревания опилок по сравнению с темпами нагревания щепы обусловлено, по всей вероятности, более плохой проницаемостью слоя для воздуха — недостаток кислорода лимитирует протекание процессов разогрева внутренних слоев опилок, хранящихся в кучах.

**Пожарная безопасность.** В производственных условиях технологическая щепа хранится в кучах, достигающих по высоте 30 м на площади до 100 тыс. м<sup>2</sup> и имеющих объем до 1 млн. м<sup>3</sup>. Поэтому вопросы пожарной безопасности хранения технологической щепы имеют большое практическое значение и специ-

ально изучались как зарубежными фирмами, так и советскими специалистами.

Опыты по определению опасности возникновения загорания щепы в кучах проводились Канадской фирмой «Фрезер». Воспламенение щепы от загоревшейся сухой травы на территории склада имитировалось поджогом сухой стружки, уложенной по периметру кучи толщиной 30 см, шириной 1,8...2,4 м. Куча поджигалась с наветренной стороны, и место горения дополнительно обдувалось вентилятором, который включался при достаточном развитии огня.

Возможность воспламенения щепы от случайно попавших в кучу горящих предметов (искр электросварки, горящих спичек и т. п.) изучалась поджогом щепы раскаленными брикетами угля. Условия возникновения пожара от разлива на куче горючих жидкостей создавалось путем разлива на щепе 22 л жидкого топлива и 1,8 л смазочного масла. Для ускорения процесса воспламенения участок щепы был дополнительно обрызган бензином. Для определения возможности самовозгорания щепы внутри кучи был установлен электрический источник тепла, который находился в металлической сетке вместе с сухой стружкой.

Во всех случаях после достаточного развития пламенного горения щепы проводились опыты по тушению пожара при подаче воды через шланги с объемной скоростью 0,7...6 л/с. Время тушения пожара не превышало 3 мин.

Опыты показали, что поверхность щепы может загореться от внешних источников огня. Степень распространения огня по поверхности зависит от скорости ветра и влажности щепы. При влажности щепы, которая была в опытных кучах, огонь распространялся по поверхности очень медленно и проникал на глубину всего 2,5...5 см. При тушении огня при поверхностном горении щепы расходуется меньше воды, чем при тушении штабелей круглых лесоматериалов.

Опыты по воспламенению щепы электронагревательными устройствами, расположенными внутри кучи, показали, что количества кислорода внутри кучи недостаточно для поддержания огня.

В нашей стране опыты по изучению пожарной опасности кучевого хранения технологической щепы проводились на Сокольском ЦБК. Для проведения их были подготовлены кучи сосновой щепы объемом 42 м<sup>3</sup> и еловой щепы объемом 392 м<sup>3</sup>. Щепа засыпалась в кучи за 10 сут до проведения опытов. Скорость ветра при опытах была 1,1 м/с. За время свободного горения щепы в течение 105 мин поверхность обгорелой щепы составила 30 м<sup>2</sup>, глубина прогорания 2...5 см, максимальная температура во время горения составила 940°С. Время тушения пожара было 11 мин при подаче воды 0,056 л/м<sup>2</sup>·с.

Вторая куча щепы была использована для определения ин-

тенсивности горения и выбора способа тушения пожара, вызванного воспламенением дизельного топлива при опрокидывании бульдозера. По куче щепы влажностью 60% было разлито 150 кг дизельного топлива и 50 кг бензина. Скорость ветра при опыте была 6 м/с. За 130 мин свободного горения площадь обгоревшей щепы составила 70 м<sup>2</sup>, глубина пригорания в местах разлива дизельного топлива была 30...50 см, а на остальных участках 2...5 см. При интенсивности подачи воды на горящий участок 0,03 л/м<sup>2</sup>·с время тушения пожара составило 17 мин.

По результатам этих исследований можно сделать вывод, что кучи технологической щепы не являются особенно пожароопасными, поскольку влажность поверхностного слоя щепы остается приблизительно равной 60%. Успешное тушение горящей снаружи щепы достигается применением распыленных водяных струй. Ограничивать объем куч технологической щепы из-за пожароопасности нет необходимости.

Более пожароопасными являются кучи топливной щепы из отходов лесозаготовок, подверженные самовозгоранию изнутри кучи. Высота куч несортированной щепы, опилок, стружек по условиям пожарной безопасности, должна быть не более 4...5 м.

### 12.3. РАСЧЕТ ОБЪЕМА СКЛАДА МЕЖСЕЗОННОГО ХРАНЕНИЯ МЕЛКОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Объем склада межсезонного хранения мелких древесных отходов лесозаготовительного предприятия зависит от теплопроизводительности котельной, объема потребления тепла и количества образующихся отходов по месяцам года. Очевидно, что в зимнее время все количество отходов направляют в буферный склад котельной, минуя склад межсезонного хранения, и, как правило, в этот же период в котельную дополнительно подают щепу из дровяной и низкосортной древесины (подруб) для восполнения разницы между годовым расходом топлива и годовым объемом образования отходов. Эта щепа должна быть заготовлена до зимнего сезона и храниться на складе межсезонного хранения. Таким образом, объем склада межсезонного хранения должен складываться из двух частей: объема для хранения излишка мелких древесных отходов, образующегося в летнее время, и объема топливной щепы из ствольной древесины (подруба), выраженных в одинаковых единицах. В качестве единиц количества топлива для этих расчетов удобнее всего принимать тонны условного топлива.

Годовой расход условного топлива  $B_r$  в котельной определяют, исходя из месячной потребности в топливе:

$$B_r = \sum_{i=1}^{12} B_{ti},$$

где  $B_i$  — месячный расход топлива, т условного топлива в  $i$ -й месяц.

Годовой выход древесных отходов

$$V_{\Gamma} = \sum_1^{12} V_i.$$

Годовой объем переработки дров и низкосортной древесины в топливную щепу  $D_{\Gamma}$  равен

$$D_{\Gamma} = B_{\Gamma} - V_{\Gamma} = \sum_1^{12} B_i - \sum_1^{12} V_i,$$

где  $V_i$  — выход древесных отходов в  $i$ -й месяц, т. усл. топлива;  $D_{\Gamma}$  — годовой объем сжигания топливной щепы из дров, т. усл. топлива.

В летние месяцы в период, когда древесные отходы имеются в излишке и часть их вывозится в отвал, щепы из дров, естественно, не сжигается. В связи с этим сумма разностей  $\sum_1^{12} (B_i - V_i)$  равна сумме удвоенного значения излишка отходов  $V_{\text{изл}}$  и годового объема сжигаемой топливной щепы из дров и низкосортной древесины  $D_{\Gamma}$ , т. е.

$$\sum_1^{12} (B_i - V_i) = D_{\Gamma} + 2V_{\text{изл}},$$

или в другой форме

$$V_{\text{изл}} = \frac{1}{2} \left[ \sum_1^{12} (B_i - V_i) - D_{\Gamma} \right].$$

Подставляя в последнюю формулу значение

$$D_{\Gamma} = \sum_1^{12} B_i - \sum_1^{12} V_i,$$

получим

$$V_{\text{изл}} = \frac{1}{2} \left[ \sum_1^{12} (B_i - V_i) - \left( \sum_1^{12} B_i - \sum_1^{12} V_i \right) \right].$$

Объем части склада для межсезонного хранения летнего излишка мелких древесных отходов в кубометрах может быть рассчитан по формуле

$$V_{\text{м.с}}^{\text{отх}} = \frac{1}{2\theta\Pi} \left[ \sum_1^{12} (B_i - V_i) - \left( \sum_1^{12} B_i - \sum_1^{12} V_i \right) \right], \quad (12.1)$$

где  $\theta$  — средний калорийный эквивалент хранимых отходов;  $\theta \approx 0,229$ ;  $\Pi$  — коэффициент полндревесности этих отходов;  $\Pi \approx 0,34$ .

38. Расход древесного топлива и выход древесных отходов (т усл. топлива) по месяцам по Крестецкому леспромхозу

| Месяц    | Расход древесного топлива котельной $B_i$ | Выход древесных отходов $V_i$ | $B_i - V_i$                      |
|----------|-------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Январь   | 2060                                      | 690                           | 1370                             |
| Февраль  | 1970                                      | 690                           | 1280                             |
| Март     | 1760                                      | 760                           | 1000                             |
| Апрель   | 1420                                      | 870                           | 550                              |
| Май      | 1080                                      | 960                           | 120                              |
| Июнь     | 640                                       | 960                           | -320                             |
| Июль     | 640                                       | 960                           | -320                             |
| Август   | 640                                       | 960                           | -320                             |
| Сентябрь | 1080                                      | 870                           | 210                              |
| Октябрь  | 1440                                      | 760                           | 680                              |
| Ноябрь   | 1700                                      | 690                           | 1010                             |
| Декабрь  | 2060                                      | 690                           | 1370                             |
| Всего    | $\sum_1^{12} B_i = 16\,490$               | $\sum_1^{12} V_i = 9860$      | $\sum_1^{12} (B_i - V_i) = 8550$ |

В качестве примера приведем расчет объема древесных отходов, вывозимого на склад межсезонного хранения в Крестецком леспромхозе. Исходные данные для расчета приведены в табл. 38.

Как видно из таблицы,  $\sum_1^{12} B_i = 16\,490$  т усл. топл.,  $\sum_1^{12} V_i = 9860$  т усл. топл.,  $\sum_1^{12} (B_i - V_i) = 8550$  т усл. топл. По формуле (12.1) имеем

$$V_{\text{м.с}}^{\text{отх}} = \frac{1}{2 \cdot 0,229 \cdot 0,34} [8550 - (16\,490 - 9860)] = 12\,300 \text{ м}^3.$$

Перейдем к определению объема склада межсезонного хранения, необходимого для резервного запаса топливной щепы из дровяной древесины, восполняющей недостаток древесных отходов для обеспечения котельной древесным топливом. Решая эту задачу из практики работы, задаются числом месяцев  $n$  с наименьшей температурой, в течение которого производство щепы прекращается.

Потребность в топливной щепе из дров для этих месяцев будет равна

$$\sum_1^n (B_i - V_i).$$

Дополнительный объем  $V_{\text{м.с}}^{\text{м}}$  склада межсезонного хранения для щепы из дров можно подсчитать по формуле

$$V_{\text{м.с}}^{\text{м}} = \frac{1}{\theta_{\text{щ}} \Pi_{\text{щ}}} \sum_1^n (B_i - V_i), \quad (12.2)$$

где  $\mathcal{E}_{щ}$  — средний калорийный эквивалент щепы из дров, т усл. топл/пл. м<sup>3</sup>;  $P_{щ}$  — коэффициент полнодревесности щепы из дров.

В условиях Крестецкого леспромхоза топливную щепу не производят в декабре и январе. В этом случае объем для хранения щепы из дров будет равен

$$V_{м.с}^{щ} = \frac{1}{0,23 \cdot 0,36} [(2060 - 690) + (2060 - 690)] = 33\,000 \text{ м}^3.$$

Полный объем склада межсезонного хранения  $V_{мс}$  можно определить по формуле

$$V_{мс} = V_{мс}^{отх} + V_{мс}^{щ}. \quad (12.3)$$

#### 12.4. УСТРОЙСТВО СКЛАДОВ МЕЖСЕЗОННОГО ХРАНЕНИЯ МЕЛКОГО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Работа по устройству склада межсезонного хранения древесного топлива начинается с расчета потребной вместимости склада. Объем склада определяется по формуле (12.3). После этого подсчитывается необходимая площадь склада, исходя из рекомендуемой высоты штабелей и ширины основания, отдельно для мелких древесных отходов и щепы из дровяной древесины. При этом следует учитывать дополнительную площадь для проходов между штабелями и площадь для устройства наружной минерализированной полосы.

После выполнения этих расчетов производится изыскание площадки для устройства межсезонного склада на местности и согласование строительства с местными органами пожарного надзора. Площадка для строительства склада межсезонного хранения должна, по возможности, подбираться на возвышенном месте не заливаемом поверхностными и паводковыми водами. Выбранная площадка сначала выравнивается, и на ней производится разбивка оснований куч, отдельно для щепы из отходов лесозаготовок и отдельно для щепы из дров. Между основаниями куч и по краям площадки склада предусматривается устройство минерализированных полос шириной не менее 5 м.

Грунт под основаниями куч профилируется так, чтобы от центра основания к сторонам был небольшой уклон. Затем устраиваются основания куч. Основание для куч может быть выполнено из бетона, асфальта, шлака, гравия, песка, в виде настила из круглых лесоматериалов и горбыля, а также иногда используют уплотненную кору или измельченные древесные отходы.

Наилучшими материалами для основания куч являются асфальт или бетон. Толщина асфальтового или бетонного покрытия основания куч обычно принимается равной 8...10 см. Использование для основания гравия, песка, грунта или шлака не

очень желательно, так как при этом может иметь место загрязнение древесных отходов минеральными примесями. В случае невозможности сооружения основания куч из асфальта или бетона поступают следующим образом: после выравнивания и профилирования площадки производят уплотнение грунта катками и засыпают его ровным слоем измельченной коры или несортированной щепы толщиной 0,6 м.

По всей площадке склада межсезонного хранения должен быть устроен надежный сток поверхностных вод. Между штабелями и по периферии площади склада предусматривается устройство минерализированных полос, представляющих собой проходы шириной не менее 5 м, расчищенные от травы, щепы и т.п. до грунта и засыпанные песком, шлаком или другим несгораемым сыпучим материалом с толщиной слоя не менее 3...5 см.

К складу межсезонного хранения должны быть построены подъезды для автомашин. Желательно, чтобы эти подъезды имели твердое покрытие.

#### 12.5. ТЕХНОЛОГИЯ МЕЖСЕЗОННОГО ХРАНЕНИЯ МЕЛКИХ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

**12.5.1. Общие положения.** Технология длительного хранения мелких древесных отходов и топливной щепы в кучах на открытом воздухе освоена еще недостаточно. Об этом свидетельствуют сделанные различными исследователями заключения, противоречащие друг другу, и практические рекомендации по межсезонному хранению щепы, взаимоисключающие друг друга.

В зарубежной практике (США, Канада) при укладке куч щепы на хранение щепу уплотняют наездом на кучи автосамосвалов, гусеничных тракторов и даже для уплотнения щепы в кучах используют специальные катки. При этом предполагается, что при уплотнении щепы зазоры между ее частицами сужаются, количество кислорода, обуславливающего протекание экзотермических процессов внутри кучи, уменьшается, а его приток в центр кучи также снижается ввиду понижения газопроницаемости хранимого материала.

Совершенно противоположного мнения придерживаются специалисты СевНИИП, которые рекомендуют укладывать щепу в кучу свободной отсыпкой и вставлять в штабель трубы, чтобы обеспечить вентиляцию внутренних слоев щепы. Закладываемые поперек штабеля сквозные трубы рекомендуются изготовлять треугольного сечения с основанием 80 см и высотой 65 см. Для обеспечения доступа воздуха внутрь штабеля доски располагаются под углом к боковым стенкам треугольника. Трубы закладываются в шахматном порядке через каждые 2,5 м. Эта технология исходит из следующих соображений. При уплотне-

нии щепы происходит увеличение поверхности частиц в единице объема, а следовательно, и улучшение условий жизнедеятельности грибов и микроорганизмов, в результате чего концентрируется выделение тепловой энергии за счет экзотермических реакций распада древесины, не требующих кислорода. Отсюда следует вывод об опасности уплотнения щепы, необходимости ее свободной отсыпки при формировании куч, желательности вентилирования внутренних слоев куч.

Более чем полувековой производственный опыт зарубежных стран (США, Канады и др.) по хранению щепы из окоренной стволовой древесины в кучах на открытом воздухе дает основание утверждать, что в этом случае возможность самовозгорания такой щепы, несмотря на наличие умеренного тепловыделения во внутренних слоях куч, маловероятна.

Щепа такого качества может безопасно храниться в кучах практически любых размеров как уплотненных, так и при свободной отсыпке щепы при формировании куч.

Самовозгорание куч щепы из стволовой окоренной древесины обуславливается следующими причинами:

- концентрацией мелких частиц в определенном объеме около центра кучи;

- попаданием в щепу металлических предметов, оказывающих каталитическое действие на протекание в куче экзотермических процессов;

- наличием в щепе большого количества частиц коры, листьев, хвои, хвойной лапки, недревесневших побегов.

Хранение в кучах на открытом воздухе топливной несортированной щепы из неокоренной дровяной и другой низкосортной древесины ввиду наличия в ней повышенного содержания мелочи и коры должно осуществляться в кучах высотой не более 8...10 м при ширине оснований в пределах 15...25 м.

Межсезонное хранение измельченных древесных отходов лесозаготовок должно проводиться в кучах высотой не более 4...5 м с треугольным или трапециевидным сечением и шириной основания в пределах 10...15 м. Щепа из стволовой древесины и опилки должны храниться на межсезонном складе отдельно от измельченных древесных отходов лесозаготовок, т. е. в отдельных кучах без их взаимного перемешивания.

**12.5.2. Способы складирования топливной щепы в кучи.** Складирование топливной щепы из дровяной и другой стволовой древесины допускается путем наезда автосамосвалов на кучу щепы с последующим опрокидыванием кузова и разгрузкой щепы. Этот способ формирования куч для складирования щепы из отходов лесозаготовок не может быть рекомендован, так как в результате образуются местные уплотнения щепы, способствующие ее самовозгоранию.

Весьма эффективный способ складирования щепы применен на Соломбальском целлюлозно-бумажном и деревообрабатыва-

щем комбинате. На этом комбинате освоено применение на операции окучивания щепы шнекороторного снегоочистителя, выпускаемого Северодвинским механическим заводом. Щепу доставляют к месту хранения автосамосвалами и разгружают у основания кучи. После того как накоплено достаточное количество щепы, в работу включается снегоочиститель. Медленно двигаясь вдоль основания кучи, снегоочиститель при помощи двух расположенных впереди шнеков подает щепу в ротор. Ротор, несущий шесть лопаток, выбрасывает щепу через специальный патрубок вверх на высоту 10...12 м. Куча при этом получается ровная по всей длине. Многолетней практикой использования шнекороторной машины для формирования куч на Соломбальском ЦБК доказана высокая надежность и эффективность ее работы. В настоящее время вместо машины Д-470 эксплуатируется более надежная и производительная шнекороторная машина Д-902. Дальность выброса щепы этой машиной достигает 30 м, а максимальная высота выброса 20 м. Производительность машины Д-902 около 150 т в час.

Наиболее распространенным в СССР способом формирования куч щепы при ее длительном хранении является использование для этой цели бульдозеров. Щепа на площадку склада межсезонного хранения доставляется автосамосвалами, а затем при помощи бульдозера куче придается надлежащая форма. Этот способ формирования куч менее совершенен, чем окучивание щепы шнекороторной машиной, так как образуются местные уплотнения щепы, что при наличии в ней листьев, хвои, коры и других растительных примесей может привести к самовозгоранию щепы. Однако этот недостаток восполняется тем, что бульдозеры являются многоцелевой машиной и применение их на складе межсезонного хранения не приводит к увеличению номенклатуры оборудования предприятий.

**12.5.3. Способы отбора щепы из куч.** Отбор щепы из куч на складе межсезонного хранения мелких древесных отходов осуществляется зимой и ранней весной, когда кучи щепы покрыты снегом. Для отбора щепы из кучи необходимо расчистить от снега подъезды к кучам щепы и площадки между ними. После этого надо произвести очистку поверхности кучи от снега и удалить этот снег за пределы расчищенной территории. По выполнении этой операции приступают к вскрытию кучи хранения топлива, для чего при помощи бульдозера удаляют из кучи верхний слой смерзшейся щепы и укладывают крупные комья ее на свободное место в виде узкого и высокого штабеля. Делается это с целью выветривания из них влаги и использования этой части щепы в котельной после того, как минует зимний максимум тепловой нагрузки. После удаления слоя смерзшейся щепы производится отбор из кучи щепы, находящейся в рыхлом состоянии и имеющей пониженную влажность. Отбор щепы из кучи может быть осуществлен посредством различных меха-

низмов. Для этой цели применяются экскаваторы, погрузчики различных типов с ковшом для забора щепы, шнекороторные машины и т. п.

Погрузочная машина типа экскаватора или погрузчика с ковшом устанавливается в непосредственной близости от вскрытой кучи щепы и своим ковшом захватывает щепу и погружают ее на щеповозы, доставляющие топливо на буферный склад котельной. Применение отбора щепы при помощи ковша не является наилучшим, так как в этом случае с топливной щепой могут попасть на буферный склад котельной крупные куски смерзшейся щепы, кусковые отходы древесины, крупные металлические предметы и т. п., что может привести к застреванию топлива в топливных рукавах, течках и топливных шахтах топочных устройств.

При применении шнековых механизмов топливоподачи крупные куски смерзшейся щепы и древесины могут вызвать их поломку. С точки зрения сохранности сложных механизмов топливоподачи и предупреждения застревания топлива в топливном тракте механизмов желательно применять для отбора щепы из кучи на складе межсезонного хранения шнекороторные машины.

Использование для отбора щепы из кучи шнекороторных машин осуществляется следующим образом: шнекороторная машина медленно надвигается на раскрытую кучу щепы и своими шнеками подает щепу в ротор, обеспечивающий ее отбрасывание через специальный патрубок в кузов щеповоза.

Преимуществами отбора щепы при помощи шнекороторной машины являются:

- увеличение загрузки щеповозов за счет уплотняющего воздействия потока быстро летящих частиц щепы;

- исключение возможности попадания на буферный склад котельной крупных комьев смерзшейся щепы и крупных кусков древесины;

- возможность использования шнекороторной машины для предварительной очистки от снега территории склада межсезонного хранения.

### 13. УЧЕТ РАСХОДА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Важнейшим условием достижения лучших результатов в производстве тепловой энергии при минимальных трудовых, материальных и денежных затратах является перевод котельных лесозаготовительных предприятий на внутризаводской хозяйственный расчет. Для осуществления этого мероприятия необходимо прежде всего решить вопрос учета расхода в котельной древесного топлива, поскольку важнейшим экономическим показателем

работы коллектива котельной есть экономичность использования топливно-энергетических ресурсов.

В Советском Союзе и за рубежом используются различные способы учета расходования древесного топлива. К наиболее распространенным среди них следует отнести:

- метод учета расхода древесного топлива по нормативам выхода древесных отходов;

- метод обратного баланса;

- объемный метод;

- весовой метод.

#### 13.1. УЧЕТ РАСХОДА ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ПО НОРМАТИВАМ ВЫХОДА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Основу этого метода составляют нормативы выхода древесных отходов, установленные и уточненные практическими мерами для каждого предприятия и конкретного технологического передела первичной обработки древесины.

Расход древесного топлива котельной по этому методу определяется как сумма объема древесных отходов, образующихся в цехах, поставляющих древесные отходы в котельную, и объема дров, использованных на производстве топливной щепы для котельной за отчетный период.

Определение объема дров, поступающих на производство топливной щепы для котельной, производится в соответствии с ГОСТ 3243—46.

Ориентировочные количества образующихся древесных отходов лесозаготовок приведены для лесопромышленных предприятий в п. 2.6. Эти ориентировочные данные должны быть уточнены в каждом предприятии на основе натуральных замеров выхода древесных отходов в конкретных условиях данного предприятия.

#### 13.2. МЕТОД ОБРАТНОГО БАЛАНСА

Метод обратного баланса можно рекомендовать в тех предприятиях, где персонал котельных освоил методику проведения балансовых испытаний и ежемесячно проводит эти испытания с целью установления КПД котлоагрегатов.

Как известно, расход топлива пропорционален выработке тепловой энергии — это и является основой для учета топлива по методу обратного баланса. По данному методу расход топлива котлоагрегатом определяется на основе замера выработки тепловой энергии.

Учет выработки пара и тепловой энергии в котельной целесообразно организовать отдельно по каждой смене обслуживающего персонала. Для этого необходимо, чтобы обслуживающий персонал в сменном журнале фиксировал показания сум-

мирующих устройств параметров и счетчиков расхода горячей воды в начале и конце смены. Разность этих показателей будет равна сменной выработке пара  $D^{см}$ , кг (с учетом поправки на снижение давления пара), и суммарному расходу за смену обратной сетевой воды  $V^{см}$ , м<sup>3</sup>.

Сменную выработку тепловой энергии парогенератором определяют по формуле

$$Q^{см} = 10^{-6} (i_n - i_b) D^{см}, \quad (13.1)$$

где  $Q^{см}$  — выработка тепла за смену, ГДж;  $i_n$  — энтальпия перегретого пара, определенная по среднесменному значению его температуры и давления по таблице термодинамических функций водяного пара, кДж/кг;  $i_b$  — энтальпия питательной воды, определенная по среднему значению температуры и давления питательной воды, кДж/кг.

Следует отметить некоторые особенности учета тепловой энергии в котельных с котлами, вырабатывающими насыщенный пар. Как известно, давление и температура сухого насыщенного пара связаны строгой функциональной зависимостью, которая дается обычно в виде таблиц насыщенного пара. Поэтому замера температуры насыщенного пара при определении его массового расхода обычно не производят. Выработку тепловой энергии парогенератором насыщенного пара производят по формуле (13.1) и с той разницей, что величина энтальпии пара берется по таблицам не перегретого, а насыщенного пара.

Количество тепла, вырабатываемого за смену водогрейным котлом, подсчитывается по формуле

$$Q^{см} = 10^{-6} V^{см} \rho^{см} (i_1 - i_2), \quad (13.2)$$

где  $Q^{см}$  — количество тепла, выработанное котлом за смену, ГДж;  $V^{см}$  — суммарный объем обратной сетевой воды, поступившей в котел за смену, м<sup>3</sup>;  $i_1$  — энтальпия прямой сетевой воды, кДж/кг;  $i_2$  — энтальпия обратной сетевой воды, кДж/кг;  $\rho^{см}$  — среднесменная плотность обратной сетевой воды, кг/м<sup>3</sup>.

Сменный расход древесного топлива по методу обратного баланса подсчитывается по формуле

$$B^{см} = \frac{100 Q^{см}}{29,33 \eta_{ка}^{бр} \mathcal{E}}, \quad (13.3)$$

где  $\eta_{ка}^{бр}$  — коэффициент полезного действия котлоагрегата, %;  $\mathcal{E}$  — средний калорийный эквивалент древесного топлива, т. усл. топл/м<sup>3</sup>;  $B^{см}$  — сменный расход древесного топлива, пл. м<sup>3</sup>.

Коэффициент полезного действия котлоагрегата брутто  $\eta_{ка}^{бр}$  устанавливается в процессе балансовых испытаний котло-

агрегата. Для того чтобы применять метод обратного баланса для учета расхода древесного топлива, необходимо освоить силами персонала котельной методику проведения балансовых испытаний и проводить эти испытания ежемесячно. Кроме того, необходимо наладить точный учет выработки тепловой энергии, для чего оборудовать котельную надлежащими контрольно-измерительными приборами.

В случае необходимости определения сменного расхода топлива в тоннах условного топлива его подсчитывают по формуле

$$B_{усл}^{см} = \frac{100 Q^{см}}{29,33 \eta_{ка}^{бр}}, \quad (13.4)$$

где  $B_{усл}^{см}$  — расход древесного топлива за смену, т. усл. топлива.

Погрешность определения расхода топлива по формуле (13.4) сравнительно невелика. Она определяется погрешностью измерительных приборов, используемых для определения  $Q^{см}$  и погрешностью КПД брутто  $\eta_{ка}^{бр}$ .

Погрешность измерения расхода топлива по формуле (13.3) больше, чем по формуле (13.4), так как в ее структуру входит значительная величина погрешности измерения калорийного эквивалента древесного топлива.

### 13.3. ОБЪЕМНЫЙ МЕТОД

Объемный метод учета расхода древесного топлива базируется на замере объема, фактически занимаемого топливом в куче, помещении склада, бункере и других емкостях. Полученный в результате замеров объем недостаточен для определения количества топлива; приходится вводить, как это принято, коэффициент полндревесности данного вида топлива. Количество древесного топлива определяется при этом в плотных кубометрах по формуле

$$V^{пл} = P V^{нас}, \quad (13.5)$$

где  $V^{пл}$  — количество топлива, пл. м<sup>3</sup>;  $P$  — коэффициент полндревесности данного вида древесного топлива;  $V^{нас}$  — объем, занимаемый топливом, м<sup>3</sup>.

Для определения расхода древесного топлива в тоннах условного топлива при использовании объемного метода служит следующая формула:

$$B_{усл} = V^{пл} \mathcal{E}, \quad (13.6)$$

где  $\mathcal{E}$  — калорийный эквивалент данного вида древесного топлива, т. усл. топл/пл. м<sup>3</sup>.

Погрешность определения расхода древесного топлива по формуле (13.6) больше погрешности расхода топлива по фор-



муле (13.5), поскольку в формулу (13.6) входит калорийный эквивалент, определяемый обычно с существенной погрешностью.

Положительной стороной объема метода при его использовании для учета топлива непосредственно в котельной является возможность полной автоматизации учета расхода древесного топлива. Для автоматизации учета на каждый котлоагрегат устанавливается бункер определенного объема и производится его тарировка путем загрузки его топливом с последующим точным замером входящего в него топлива. Бункер снабжается двумя датчиками для сигнализации полного заполнения его топливом и полной разгрузки от топлива. Внизу и сверху бункера устанавливаются задвижки, перекрывающие поступление и выход из него древесного топлива.

Автоматический учет расхода топлива древесного топлива в котельной происходит при этом в следующем порядке. При опускании топлива в бункере до нижнего уровня по сигналу датчика нижнего уровня закрывается нижняя задвижка и открывается верхняя, пускаются механизмы топливоподачи и бункер заполняется топливом. Когда уровень топлива дойдет до верхнего положения, датчик верхнего уровня дает сигнал, по которому верхняя задвижка закрывается, нижняя задвижка открывается, останавливаются механизмы топливоподачи, а также дается импульс в суммирующее устройство о полном израсходовании одного объема бункера. Суммирующее устройство воспринимает импульс об израсходовании топлива от всех котлоагрегатов и обеспечивает передачу информации о расходе топлива каждым котлоагрегатом на соответствующее показывающее или записывающее устройство.

Применение такой системы автоматизированного учета древесного топлива позволит дать объективную оценку работы обслуживающего персонала котельной, повысит культуру обслуживания оборудования котельной и обеспечит значительную экономию топлива.

### 13.4. ВЕСОВОЙ МЕТОД

В Советском Союзе, США, Канаде, Финляндии в последнее время увеличивается применение весового метода учета технологической щепы. Весовой метод предусматривает учет расхода топливной щепы путем взвешивания ее посредством тех или иных весоизмерительных устройств. При этом определяется масса древесного топлива и одновременно измеряются его влажность и зольность. Количество топлива в тоннах условного топлива определяется по формуле

$$B_{\text{усл}} = G (644,3 - 7,3W^p - 6,44A^p) \cdot 10^{-3}, \quad (13.7)$$

где  $G$  — масса топлива, т;  $W^p$  — влажность топлива, %;  $A^p$  —

зольность топлива, %;  $B_{\text{усл}}$  — количество топлива, т усл. топлива.

Расход топлива в плотных кубометрах можно подсчитать при весовом методе по формуле

$$V^{\text{пл}} = \frac{G}{\mathcal{E}} (644,3 - 7,3W^p - 6,44A^p) \cdot 10^{-3},$$

где  $\mathcal{E}$  — средний калорийный эквивалент израсходованного древесного топлива.

Недостатком этого метода является необходимость при каждом взвешивании определять влажность и зольность топлива. Автоматизация учета расхода древесного топлива в котельных при весовом методе крайне затруднена. Затраты на приобретение и монтаж весовых устройств значительны. Однако весовой метод учета древесного топлива при его правильной организации дает минимальную погрешность, поскольку при его применении в расчетах не принимаются коэффициенты, определенные с существенной ошибкой.

Для весового учета щепы институтом ДальНИИЛП был разработан учетчик щепы ВО-63 на базе весов Д100-3. Учетчик представляет собой стационарное порционное автоматически взвешивающее устройство с регистрацией количества отвесов заданной массы щепы. Он состоит из скребкового транспортера, приемного бункера с перепускными устройствами для подачи щепы на весы, автоматических порционных весов Д100-3, переоборудованных для работы со щепой и опорного стола, смонтированных на металлической раме высотой 5 м.

#### Техническая характеристика учетчика щепы ВО-63

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| Производительность, т/ч     | 3...10 |
| Установленная мощность, кВт | 2,2    |
| Масса, кг                   | 1660   |
| Погрешность измерения, %    | ±1     |

## 14. ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Основными синтетическими технико-экономическими показателями котельных при работе их на древесном топливе являются себестоимость выработки единицы тепловой энергии и удельные капитальные затраты на строительство котельной с оборудованием для буферного хранения и подачи этого вида топлива в топочные устройства. Для обоснования экономической эффективности применения древесных отходов на топливо применяют комплексный показатель — приведенные затраты, включающий в себя как себестоимость тепла, так и



объем капитальных затрат, необходимых для данного варианта производства тепловой энергии.

Приведенные затраты  $Z$  подсчитываются по формуле

$$Z = C + E_n K, \quad (14.1)$$

где  $C$  — себестоимость тепловой энергии, р/МДж;  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (для лесной промышленности  $E_n = 0,15$ );  $Z$  — приведенные затраты, р/МДж;  $K$  — капитальные затраты, р/МДж.

Экономически обоснованное решение по производству тепловой энергии определяют, исходя из минимума приведенных затрат:

$$Z = C + E_n K = \min. \quad (14.2)$$

#### 14.1. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОТЕЛЬНЫХ, РАБОТАЮЩИХ НА ДРЕВЕСНОМ ТОПЛИВЕ

Оценка работы котельной производится по ее технико-экономическим показателям, определяемым по данным технической отчетности. Работу котельной на древесном топливе характеризуют следующие технико-экономические показатели: установленная мощность котлоагрегатов, годовая выработка и отпуск тепла, численность обслуживающего персонала, капитальные затраты на строительство и монтаж оборудования котельной, коэффициент загрузки, коэффициент использования установленной мощности, КПД и удельный расход условного топлива на выработку 1 МДж тепла, штатный коэффициент, себестоимость тепловой энергии и удельные капитальные затраты на выработку тепла.

**Коэффициент загрузки** характеризует степень загрузки установленной мощности котельной при максимальной (часовой) выработке тепла во время зимнего максимума потребления тепловой энергии. Разность между единицей и коэффициентом загрузки характеризует резерв мощности котельной. Коэффициент загрузки определяется по формуле

$$K_{\text{заг}} = Q_{\text{max}} / Q_{\text{уст}}, \quad (14.3)$$

где  $Q_{\text{max}}$  — максимальная часовая нагрузка во время зимнего максимума потребления тепловой энергии, МВт;  $Q_{\text{уст}}$  — установленная мощность котлоагрегатов котельной, МВт.

Установленная мощность котельной используется в течение года не полностью, так как тепловая нагрузка меняется в продолжении суток и по сезонам года. Для установления, в какой мере используется установленная мощность котельного оборудования в течение года, служит коэффициент использования установленной мощности.

**Коэффициент использования установленной мощности котельной**

$$K_{\text{исп}} = \frac{Q_{\text{год}}}{Q'_{\text{уст}} 7860}, \quad (14.4)$$

где  $Q_{\text{год}}$  — годовая выработка тепловой энергии, МДж;  $Q'_{\text{уст}}$  — установленная мощность котлоагрегатов котельной, МДж/ч.

На практике вместо коэффициента использования установленной мощности пользуются показателем, называемым числом часов использования установленной мощности. Число часов использования установленной мощности показывает, сколько часов котельная должна работать при нагрузке равной установленной мощности, чтобы обеспечить выработку количества тепла, запланированного на год.

Число часов использования установленной мощности котельной подсчитывают по формуле

$$\tau_{\text{год}} = \frac{Q_{\text{год}}}{Q'_{\text{уст}}}. \quad (14.5)$$

Число часов использования установленной мощности котельной применяется при проектировании котельной. Задаваясь этой величиной на основании опыта эксплуатации котельных в аналогичных условиях, проектанты определяют необходимую мощность котлоагрегатов по годовому потреблению тепла. Годовое потребление тепла для этого исчисляется на основании проектного графика тепловой нагрузки по месяцам года.

Экономичность использования топлива в котельной характеризуют коэффициенты полезного действия и удельный расход условного топлива на выработку единицы тепловой энергии. Коэффициентом полезного действия котлоагрегата называют отношение тепловой энергии пара или горячей воды к энергии сгорания топлива. Различают КПД котлоагрегата брутто и нетто.

**КПД брутто** — это отношение произведенного тепла к теплу сгорания топлива. КПД брутто определяется для паровых котлов по формуле

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = \frac{D (i_p - i_v) 10^3}{B Q_{\text{н}}^{\text{р}}} 100, \quad (14.6)$$

где  $D$  — производительность котла, т/ч;  $i_p$  — энтальпия пара, кДж/кг;  $i_v$  — энтальпия питательной воды, кДж/кг;  $B$  — расход топлива, кг;  $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  — теплота сгорания топлива, кДж/кг;  $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}$  — КПД брутто, %.

Для водогрейных котлов КПД брутто определяется по формуле

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = \frac{V\rho(i_1 - i_2)}{BQ_{\text{н}}^{\text{р}}} 100, \quad (14.7)$$

где  $V$  — количество обратной сетевой воды, поступившей в водогрейный котел, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $i_1$  — энтальпия прямой сетевой воды, кДж/кг;  $i_2$  — энтальпия обратной сетевой воды, кДж/кг;  $B$  — расход топлива, кг/ч;  $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  — теплота сгорания, кДж/кг.

КПД нетто есть отношение отпущенной тепловой энергии к теплоте топлива, которая может выделяться при его сжигании. Иначе говоря, этот коэффициент отражает снижение полезного тепла за счет тепловой энергии, расходуемой на собственные нужды котельной. Для паровых котлов КПД нетто подсчитывается по формуле

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{нетто}} = \frac{(D - D_{\text{сн}})(i_{\text{п}} - i_{\text{в}}) 10^3}{BQ_{\text{н}}^{\text{р}}} 100, \quad (14.8)$$

где  $D_{\text{сн}}$  — расход пара на собственные нужды, т/ч.

Для водогрейных котлов КПД нетто можно определить по формуле

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{нетто}} = \frac{V\rho(i_1 - i_2) - Q_{\text{с.н}}}{BQ_{\text{н}}^{\text{р}}}, \quad (14.9)$$

где  $Q_{\text{с.н}}$  — расход тепла на собственные нужды котельной, кДж/ч.

Удельный расход условного топлива на выработку 1 МДж тепла определяется по формуле

$$b_{\text{у.т}} = \frac{3,41}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}}, \quad (14.10)$$

где  $b_{\text{у.т}}$  — удельный расход условного топлива, кг/МДж;  $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}$  — КПД котла брутто, %.

Штатный коэффициент характеризует трудоемкость производства тепловой энергии. Он представляет собой отношение численности персонала котельной к ее установленной мощности и может быть подсчитан по формуле

$$K_{\text{шт}} = \frac{n}{Q_{\text{уст}}},$$

где  $n$  — численность работников котельной, чел.;  $Q_{\text{уст}}$  — установленная мощность котельной, МВт.

Чем выше степень механизации и автоматизации производства тепла в котельных, тем меньше численное значение штат-

ного коэффициента. В табл. 39 приведены значения штатного коэффициента для районных котельных.

В таблице указан штатный коэффициент для персонала, осуществляющего эксплуатацию оборудования. Ремонтный персонал котельной, на основании опыта работы, составляет 30 %

39. Штатные коэффициенты для районных котельных (эксплуатационный персонал)

| Мощность котельной |       | Штатные коэффициенты в зависимости от вида топлива |           |               |           |
|--------------------|-------|----------------------------------------------------|-----------|---------------|-----------|
| МВт                | ГДж/ч | Уголь                                              |           | Природный газ |           |
|                    |       | чел/МВт                                            | чел/ГДж/ч | чел/МВт       | чел/ГДж/ч |
| 55,6               | 200   | 0,778                                              | 0,216     | 0,475         | 0,132     |
| 111,1              | 400   | 0,565                                              | 0,157     | 0,414         | 0,115     |
| 222,2              | 800   | 0,385                                              | 0,107     | 0,241         | 0,067     |
| 333,3              | 1200  | 0,310                                              | 0,086     | 0,173         | 0,048     |
| 444,4              | 1600  | 0,248                                              | 0,069     | 0,130         | 0,036     |
| 555,5              | 2000  | 0,198                                              | 0,055     | 0,104         | 0,029     |
| 694,4              | 2500  | 0,180                                              | 0,050     | 0,086         | 0,024     |

численности эксплуатационного персонала. Штатный коэффициент уменьшается при увеличении мощности котельных. В котельных лесозаготовительных предприятий, работающих на древесном топливе, при их мощности от 4 до 23 МВт штатный коэффициент изменяется в пределах от 1 до 4,2 чел/МВт. В котельных на базе чугунных секционных водогрейных котлов штатный коэффициент достигает 10 чел/МВт.

Себестоимость единицы вырабатываемой теплоты в котельной подсчитывается как сумма годовых затрат (на топливо, заработную плату персонала котельной, на воду и электроэнергию, на текущий ремонт и техническое обслуживание оборудования, амортизацию оборудования, здания и других сооружений котельной), отнесенных на единицу выработанной энергии. Себестоимость единицы тепла подсчитывается по формуле

$$C = \frac{1}{Q_{\text{год}}} [C_{\text{т}} + C_{\text{з.п}} + C_{\text{в}} + C_{\text{э}} + C_{\text{т.р}} + C_{\text{т.о}} + C_{\text{ам}}],$$

где  $Q_{\text{год}}$  — годовая выработка тепла, МДж;  $C_{\text{т}}$  — затраты на топливо, р;  $C_{\text{з.п}}$  — заработная плата основная и начисления на нее, р;  $C_{\text{в}}$  — затраты на воду, р;  $C_{\text{э}}$  — затраты на электроэнергию, р;  $C_{\text{т.р}}$  — затраты на текущий ремонт, р;  $C_{\text{т.о}}$  — затраты на техническое обслуживание оборудования, р;  $C_{\text{ам}}$  — амортизационные отчисления на капитальный ремонт и реновацию, р.

Основными составляющими себестоимости тепловой энергии является топливная составляющая и составляющая по содержанию обслуживающего персонала.

40. Оптовые цены на древесные отходы, предназначенные на топливо, по прейскуранту № 52-03-35 [ТУ 13-539—80]

| Наименование отходов                                               | Оптовая цена за 1 пл. м³, р. — к., по ценовым районам |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------|------|------|
|                                                                    | I                                                     | II   | III  | IV—V |
| Сучья и ветви                                                      | 1—20                                                  | 2—40 | 3—60 | 4—80 |
| Отрезки хлыстов и бревен, вершинки (отходы раскряжевки и разделки) | 2—20                                                  | 3—20 | 4—40 | 5—80 |
| Горбыли, рейки, обрезки, оторцовки, оструга                        | 1—80                                                  | 2—70 | 3—60 | 4—70 |
| Щепа                                                               | 1—70                                                  | 2—50 | 3—50 | 5—00 |
| Стружки, шлифованная древесная пыль                                | 2—70                                                  | 3—60 | 4—50 | 5—45 |
| Карандаши                                                          | 1—90                                                  | 2—80 | 4—00 | 5—30 |
| Обрезки фанеры, шпона, древесных плит, шпон-рванина                | 2—00                                                  | 2—90 | 4—00 | 4—70 |

Топливная составляющая зависит от цены на топливо и КПД котлоагрегатов. Величина топливной составляющей себестоимости тепловой энергии при мощности котельной свыше 3 МВт очень мало зависит от мощности котельной и целиком определяется по своей величине стоимостью применяемого топлива. Она немного снижается с повышением мощности

41. Техничко-экономические показатели котельных на древесном топливе

| Наименование показателей                         | Единица измерения  | Мощность     |             |
|--------------------------------------------------|--------------------|--------------|-------------|
|                                                  |                    | 3,87<br>3,33 | 6,2<br>5,33 |
| Тип котлоагрегата                                | —                  | ДКВр-2,5-13  | ДКВр-4-13   |
| Число котлоагрегатов                             | шт.                | 2            | 2           |
| Паропроизводительность                           | т/ч                | 5,0          | 8,0         |
| Годовая выработка тепла                          | тыс. Гкал          | 11,3         | 18,0        |
| Годовой отпуск тепла                             | тыс. Гкал          | 10,7         | 16,8        |
| Число часов работы при установленной мощности    | ч/год              | 3400         | 3400        |
| Годовой расход древесного топлива                | тыс. пл. м³        | 10,0         | 15,2        |
| Число обслуживающего эксплуатационного персонала | чел.               | 16           | 16          |
| Штатный коэффициент                              | чел./МВт           | 4,2          | 2,6         |
| КПД брутто                                       | %                  | 73,2         | 76,4        |
| Удельный расход топлива                          | кг усл. топл./Гкал | 195          | 187         |
| Стоимость отпущенного тепла                      | р/Гкал             | 4,62         | 3,75        |

котельной за счет увеличения КПД котлоагрегатов, который несколько повышается при увеличении мощности котлов. Оптовые цены на древесные отходы, предназначенные на топливо, по прейскуранту № 52-03-35 приведены в табл. 40.

Годовой расчет древесного топлива, пл. м³, котельной определяется по формуле

$$B_{др} = \frac{3,41 Q_{год}}{\eta_{ка}^{бр} \mathcal{E}_{ср}},$$

где  $Q_{год}$  — годовая выработка тепла котельной, МДж;  $\eta_{ка}^{бр}$  — КПД котлоагрегатов брутто, %;  $\mathcal{E}_{ср}$  — средний калорийный эквивалент древесного топлива, т усл. топл./пл. м³.

Величина топливной составляющей для древесного топлива может быть найдена по формуле

$$C_{т} = \frac{B_{др} \left(1 + \frac{a_{п}}{100}\right) Ц}{Q_{год}},$$

где  $B_{др}$  — годовой расход древесного топлива, пл. м³;  $Ц$  — цена на древесное топливо за плотный кубометр франко-буферный склад котельной;  $a_{п}$  — потери древесного топлива в процессе транспортирования и хранения, %.

| котельной, МВт/Гкал/ч |               |               |               |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| 9,3<br>8,0            | 14,7<br>12,65 | 23,26<br>20,0 | 0,84<br>0,72  |
| ДКВр-4-13             | ДКВр-6,5-13   | ДКВр-10-13    | «Универсал-6» |
| 3                     | 3             | 3             | 4             |
| 12,0                  | 19,0          | 30,0          | 1,08          |
| 27,3                  | 44,0          | 68,0          | 3,24          |
| 25,0                  | 41,0          | 63,5          | 2,92          |
| 3400                  | 3400          | 3400          | 4500          |
| 23,0                  | 37,0          | 54,0          | 4,0           |
| 20                    | 22            | 22            | 8             |
| 2,15                  | 1,5           | 0,95          | 9,5           |
| 76,4                  | 76,8          | 81,1          | 51,6          |
| 187                   | 186           | 176           | 277           |
| 3,44                  | 3,57          | 3,04          | 8,1           |

Цена на древесное топливо равна

$$C = C_{\text{опт}} + C_{\text{др}} + C_{\text{хр}} + C_{\text{тр}},$$

где  $C_{\text{опт}}$  — оптовая цена по прейскуранту № 52-03-35 за древесные отходы, р/пл. м<sup>3</sup>;  $C_{\text{др}}$  — стоимость измельчения, р/пл. м<sup>3</sup>;  $C_{\text{хр}}$  — стоимость хранения, р/пл. м<sup>3</sup>;  $C_{\text{тр}}$  — стоимость внутризаводского транспортирования топливной щепы.

В табл. 41 приведены показатели работы котельных на древесном топливе по данным типовых проектов Гипролестранса на базе паровых котлов ДКВр. В этой же таблице даны показатели котельной с чугунными секционными котлами типа «Универсал-6».

#### 14.2. ОСНОВНЫЕ ПУТИ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИИ

Экономия топливно-энергетических ресурсов в условиях лесной и деревообрабатывающей промышленности может быть достигнута в результате разработки и осуществления мероприятий по трем основным направлениям:

вовлечению в топливный баланс лесопромышленных предприятий вторичных энергетических ресурсов;

повышению степени полезного использования топлива и тепла при производстве тепловой энергии;

снижению потерь тепла при его транспортировании и использовании в теплопотребляющих технологических устройствах, а также при отоплении, горячем водоснабжении и вентиляции производственных, административных и жилых помещений.

Под вторичными энергетическими ресурсами (ВЭР) понимается энергетический потенциал продукции, отходов побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках), который не используется в самом агрегате — источнике ВЭР, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других потребителей на самом предприятии или за его пределами.

Выходом вторичных энергетических ресурсов называют количество энергоресурсов, образовавшихся в данном технологическом процессе. По виду энергии вторичные энергетические ресурсы разделяются на три основные группы.

Горючие (топливные) ВЭР — химическая энергия отходов технологических процессов, непригодных для технологической переработки и используемых в качестве топлива. К ним относятся:

побочные горючие газы плавильных печей;

горючие отходы химической и термохимической переработки органического сырья;

отходы деревообработки — кора, опилки, стружки, обрезки и т. п.;

щелоки целлюлозно-бумажного производства и горючие щелоки других производств;

демонтированные деревянные детали зданий, сооружений, негодные для использования шпалы, столбы и т. п.

Тепловые ВЭР — физическое тепло отходящих жидкостей и газов технологических агрегатов, физическое тепло основной, побочной, промежуточной продукции, тепло горячей воды и пара, отработавших в технологических или силовых установках.

ВЭР избыточного давления — потенциальная энергия газов и жидкостей, покидающих технологические агрегаты с избыточным давлением, которое необходимо снизить перед последующей ступенью использования этих жидкостей и газов перед выбросом их в атмосферу.

В лесной и деревообрабатывающей промышленности основным видом вторичных энергетических ресурсов являются неиспользованные или непригодные для технологической переработки древесные отходы. Это обусловлено наличием в отрасли значительных объемов древесных отходов, технически или экономически недоступных для целей технологии, требующих значительных трудовых и денежных затрат для их ликвидации во избежание загрязнения ими окружающей среды.

Вовлечение в топливный баланс лесопромышленных предприятий таких отходов обеспечивает прямую экономию невозобновляемых видов топлива и требует повседневного внимания со стороны работников энергетической службы. Для этого следует проводить простые, как правило, не требующие больших капитальных затрат мероприятия, обеспечивающие:

сбор всех мелких древесных отходов в местах их возникновения, недопущение их разбрасывания по территории предприятия, необоснованной вывозки в отвалы;

измельчение в топливную щепу всех крупномерных фаутных вырезок при раскряжевке и разделке древесины;

предупреждение попадания в топливные отходы воды, льда, снега, поскольку повышение влажности древесного топлива приводит к перерасходу топлива при выработке тепловой энергии;

устройство площадок с твердым покрытием для временного хранения топливных древесных отходов, а также их перевалки и погрузки на внутризаводской транспорт котельных для предупреждения попадания в древесное топливо глины, песка и других минеральных включений, уменьшающих эффективность работы топочных устройств и затрудняющих их обслуживание;

организацию межсезонного хранения древесных отходов для надежного обеспечения котельных топливом в период зимнего максимума тепловых нагрузок;

модернизацию топочных устройств для эффективного сжигания в них древесных отходов высокой зольности и влажности;

42. Оптовая цена на древесные отходы в расчета на 1 т условного топлива (при влажности свежесрубленной древесины)

| Вид отходов и их порода                                             | Оптовая цена на 1 т усл. т. р. — к. по ценовым районам |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                                                     | I                                                      | II    | III   | IV—V  |
| Сучья и ветви:                                                      |                                                        |       |       |       |
| березовые                                                           | 3—44                                                   | 8—24  | 12—37 | 16—49 |
| еловые                                                              | 5—94                                                   | 11—88 | 17—82 | 23—76 |
| сосновые                                                            | 5—19                                                   | 10—48 | 15—72 | 20—96 |
| Отрезки хлыстов и бревен, вершинки (отходы раскряжевки и разделки): |                                                        |       |       |       |
| березовые                                                           | 7—56                                                   | 11—00 | 15—12 | 19—93 |
| еловые                                                              | 10—89                                                  | 15—84 | 21—78 | 28—71 |
| сосновые                                                            | 9—52                                                   | 13—85 | 19—04 | 25—10 |
| осиновые                                                            | 9—61                                                   | 13—97 | 19—21 | 25—33 |
| Горбыли, рейки, обрезки, оторцовки, оструга:                        |                                                        |       |       |       |
| березовые                                                           | 6—19                                                   | 9—28  | 12—37 | 16—15 |
| еловые                                                              | 8—91                                                   | 13—57 | 17—82 | 23—26 |
| сосновые                                                            | 7—79                                                   | 11—68 | 15—58 | 20—34 |
| осиновые                                                            | 7—86                                                   | 11—79 | 15—72 | 20—52 |
| Щепа:                                                               |                                                        |       |       |       |
| березовая                                                           | 5—84                                                   | 8—59  | 12—02 | 17—18 |
| еловая                                                              | 8—42                                                   | 12—38 | 17—33 | 24—75 |
| сосновая                                                            | 7—35                                                   | 10—82 | 15—15 | 21—64 |
| осиновая                                                            | 7—42                                                   | 10—91 | 15—28 | 21—83 |

43. Перспективные замыкающие затраты на условное топливо

| Район                            | Замыкающие затраты на каменный уголь, р. — к./т усл. топлива | Район                              | Замыкающие затраты на каменный уголь, р. — к./т усл. топлива |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Северо-Запад                     | 35—37                                                        | Амурская область                   | 18—20                                                        |
| Мурманская область               | 36—38                                                        | Хабаровский край                   | 20—22                                                        |
| Коми АССР                        | 24—26                                                        | Приморский край                    | 18—20                                                        |
| Центр                            | 34—36                                                        | Восточная Украина, Ростовская обл. | 31—33                                                        |
| Центрально-Черноземный район     | 33—35                                                        | Западная Украина, Молдавия         | 33—35                                                        |
| Северный Кавказ                  | 32—34                                                        | Белоруссия, Литва                  | 35—37                                                        |
| Среднее Поволжье                 | 30—32                                                        | Латвия, Эстония                    | 36—38                                                        |
| Нижнее Поволжье                  | 32—34                                                        | Грузия                             | 33—35                                                        |
| Северный Урал                    | 25—28                                                        | Армения, Азербайджан               | 35—37                                                        |
| Южный Урал                       | 25—27                                                        | Туркмения                          | 22—24                                                        |
| Кемеровская обл. Алтай           | 15—17                                                        | Узбекистан                         | 20—22                                                        |
| Новосибирская обл., Томская обл. | 17—19                                                        | Киргизия                           | 23—25                                                        |
| Омская обл.                      | 20—22                                                        | Таджикистан                        | 24—26                                                        |
| Красноярский край                | 13—15                                                        | Западный Казахстан                 | 29—31                                                        |
| Иркутская обл.                   | 14—16                                                        | Северо-Восточный Казахстан         | 16—18                                                        |
| Забайкалье                       | 16—18                                                        | Южный Казахстан                    | 18—20                                                        |

подготовку высоковлажной коры к сжиганию в топочных устройствах.

Экономия топлива и тепловой энергии в котельных лесопромышленных предприятий при выработке тепловой энергии и пара достигается:

эксплуатацией котлоагрегатов при нагрузках, соответствующих максимальному значению КПД;

поддержанием при обслуживании котельных установок оптимального значения коэффициента избытка воздуха;

содержанием в чистоте поверхностей нагрева котлоагрегатов; оптимизацией водного режима котельных установок;

установкой оптимальной площади и схемы хвостовых поверхностей нагрева;

поддержанием в надлежащем состоянии теплоизоляции котлоагрегата и его вспомогательного оборудования;

проведением действенных мероприятий, направленных на повышение степени возврата в котельную конденсата.

14.3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Энергетическое использование древесных отходов может быть экономически эффективным только при определенных условиях. В настоящее время оно не может быть экономически эффективным по сравнению с использованием ископаемого топлива в случае применения ручного труда для подготовки древесных отходов к сжиганию или для подачи их в топочные устройства.

Для обеспечения достаточно высоких экономических показателей энергетического использования древесных отходов необходима полная механизация процессов топливоподготовки и топливоподачи, а в условиях малых котельных, мощностью до 3 МВт, — автоматизация производства тепловой энергии. Экономическая оценка эффективности использования на топливо древесных отходов должна осуществляться путем сравнения древесных отходов как топлива с твердым ископаемым топливом — каменным углем.

На основании прейскуранта № 52-02-35 подсчитана оптовая цена на древесные отходы на 1 т условного топлива. Результаты расчетов сведены в табл. 42.

Для сравнения в табл. 43 приведены перспективные замыкающие затраты на энергетический каменный уголь, рассчитанные также на тонну условного топлива.

Сравнивая оптовую цену на древесные отходы, пересчитанную на 1 т усл. топлива (см. табл. 42), с сопоставимыми данными по замыкающим затратам на каменный уголь в табл. 43 можно сделать заключение, что на топливной составляющей

использования на топливо древесных отходов для большинства районов будет экономически выгоднее, чем использование каменного угля.

### 15. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ КАК ОСНОВА БЕЗОТХОДНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время стало насущной необходимостью осуществление в стране назревших преобразований, обеспечивающих ускорение социально-экономического развития.

Ускоренное развитие общественного производства при его колоссальных объемах неизбежно в какой-то мере затрагивает природную среду так, что при недостаточном внимании к ней могут стать реальностью недопустимые воздействия на природу, нарушающие веками сложившееся экологическое равновесие.

В политическом докладе ЦК КПСС XXVII съезду Генеральный секретарь ЦК КПСС тов. М. С. Горбачев отметил: «Перед нами остро встает задача **охраны природы и рационального использования ее ресурсов**. Социализм с его плановой организацией производства и гуманистическим мировоззрением способен внести гармонию во взаимоотношения между обществом и природой»<sup>1</sup>.

Гармония во взаимоотношениях между природой и обществом при современных масштабах общественного производства не может быть достигнута путем простого декларирования ее, здесь требуется надлежащая разработка и осуществление целой системы целенаправленных мероприятий, специфичных для каждой отрасли промышленности, для каждого вида производства, для каждого типа технологии.

Для практической реализации такой системы мероприятий необходимо проведение большого объема проектных работ, создание специального оборудования, осуществление значительных объемов строительных и монтажных работ, связанных с трудовыми, денежными и материальными затратами.

Лесозаготовительное производство не является в этом отношении исключением.

В последнее десятилетие ежегодный объем заготовки и вывозки древесины в лесах государственного значения, находящихся в ведении органов лесного хозяйства, составлял 400... 411 млн. м<sup>3</sup>. Это значит, что ежегодно вырубались миллионы гектаров леса.

<sup>1</sup> Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. — М.: Политиздат, 1986. — С. 50.

Проведение лесозаготовок в нашей стране осуществлялось в основном в соответствии с научными предпосылками лесоведения и лесоводства, обуславливающими оптимальное использование лесных ресурсов социалистического государства как с точки зрения удовлетворения потребностей народного хозяйства в лесоматериалах, так и с точки зрения сохранения окружающей среды. При этом одновременно с заготовкой леса выполнялся большой объем работ по лесовозобновлению, защитному лесоразведению, рубкам ухода за лесом и другим лесохозяйственным мероприятиям, направленным на возмещение ущерба, наносимого окружающей среде при ведении заготовки древесины.

Однако огромные масштабы заготовок леса в стране требуют осторожного подхода к принятию ответственных решений, которые следует принимать на основе экспериментов, достоверных научных изысканий и исследований.

Современные лесопромышленные предприятия все более приобретают комплексный характер. Это значит, что за такими предприятиями закрепляются определенные площади лесного фонда и возлагается на них полная ответственность не только за рациональное ведение лесозаготовок, но и за проведение всего необходимого комплекса лесохозяйственных работ, включая искусственное выращивание леса.

В этих условиях заготовка древесины составляет необходимую и неотъемлемую часть лесохозяйственного производства — своего рода сбор выращенного самими лесозаготовителями урожая лесных культур.

Такая структура и организация лесозаготовительных и лесопромышленных предприятий наиболее полно отвечает духу и содержанию социалистической системы хозяйства.

Кроме рубок главного пользования, комплексные лесопромышленные предприятия проводят рубки ухода за лесом, направленные на создание благоприятных условий роста ценных пород древесины, повышение полезных функций леса, своевременное использование заготавливаемой древесины.

Комплексные лесозаготовительные предприятия несут также полную ответственность за проведение санитарных рубок. Эти рубки проводят в древостоях любого возраста, находящихся в неудовлетворительном санитарном состоянии, с целью удаления больных деревьев, сухостоя, бурелома, ветровала и др.

Очевидно, что древесина, заготавливаемая во время рубок ухода и особенно при санитарных рубках, по своему качеству значительно уступает древесине, заготавливаемой при рубках главного пользования, она в большей степени поражена вредными насекомыми и грибковыми заболеваниями, содержит отмершие и маломерные деревья.

Древесина от санитарных рубок в виду зараженности ее грибами должна по возможности в кратчайшие сроки уда-

ляться из леса. Опыт работы показывает, что при хранении в штабелях в лесу она быстро разрушается — сгнивает, становясь малопригодной даже для использования на топливо.

Объемы древесины, заготавливаемой при рубках ухода и санитарных рубках ежегодно, эквивалентны по тепловой энергии 8,0...8,5 млн. т условного топлива. Поэтому целесообразно иметь в каждом лесохозяйственном и лесопромышленном предприятии оборудование для эффективного энергетического использования части древесины, получаемой от санитарных рубок и рубок ухода, которая непригодна для каких-либо других технологических целей.

Одной из неясных и до конца не решенных проблем является проблема отходов лесозаготовок, оставляемых на лесосеках после рубок главного пользования.

Многие специалисты считают правомерным оставлять на лесосеках после рубок главного пользования древесные отходы, образующиеся от обрубки сучьев, нетоварные хлысты, сухостой и т. п., полагая, что это не наносит особого вреда природе. Даже, более того, это полезно лесным насаждениям, так как компенсирует в какой-то части изъятие из кругооборота веществ, принадлежащих вывозимой с лесосек древесной биомассе. Имеется при этом в виду, что древесные отходы, оставляемые на лесосеке, являются удобрениями для лесной почвы, поскольку содержат азот и целую гамму так называемых зольных элементов, дефицит которых в почве резко снижает продуктивность лесных массивов.

При решении вопроса о вывозке древесных отходов с лесосеки имеет немаловажное значение и то обстоятельство, что качество биомассы элементов кроны дерева более низкое по сравнению с качеством древесины, заготавливаемой при рубках главного пользования. В то же время себестоимость заготовки и вывозки одного плотного кубометра отходов лесозаготовок существенно превышает себестоимость заготовки и вывозки плотного кубометра стволовой древесины.

Вывозка из леса нетоварных, поврежденных грибами и насекомыми деревьев экономически нецелесообразна, так как их древесина не может найти полезного применения ввиду ее низкого качества.

Приведенные выше обоснования правомерности оставления в лесу древесных отходов при рубках главного пользования имеют объективный характер и должны приниматься во внимание при организации технологического процесса лесозаготовок. Однако они отражают сущность проблемы односторонне, не исключая возможности другой точки зрения.

Так, с совершенно иной позиции рассматривают эту проблему работники лесного хозяйства. Они прежде всего обращают внимание на деятельность в лесу насекомых-вредителей. Нет почти ни одной древесной породы и кустарника, которые

в той или иной мере не повреждались бы каким-либо вредным насекомым. Отдельные виды насекомых повреждают не только растущие деревья и кустарники, но и заготовленную древесину, если она продолжительное время находится в лесу.

Древесные отходы, нетоварные деревья, сухостой, оставляемые на лесосеке, создают благоприятные условия для развития и размножения многих видов вредных для леса насекомых. Конечно заготовленная и своевременно вывезенная древесина не подвергается опасности повреждения этими насекомыми, однако то, что остается на лесосеке, в частности жизнеспособный подрост и новые поколения деревьев, неизбежно при этом оказываются в среде, существенно зараженной лесными вредителями.

Для того, чтобы обеспечить надлежащие условия для успешного лесовозобновления после рубок главного пользования, чтобы уменьшить опасность распространения на вырубленных лесосеках вредных насекомых, целесообразно вывозить из леса все образующиеся там древесные отходы и другую низкокачественную биомассу, являющуюся питательной средой для вредных насекомых.

Губительное воздействие на лес оказывают грибные болезни деревьев, вызываемые простейшими растениями — грибами, паразитирующими как на живых растениях, так и питающимися органическими веществами отмерших деревьев. Грибки размножаются с помощью спор или путем развития грибницы. Деревья заражаются грибными болезнями после того, как спора или грибница проникает внутрь живого органа и при благоприятных условиях начинает там размножаться. Грибки вызывают у деревьев различные заболевания. Они поражают листья, хвою, ветки, семена, плоды, ствол и корни. Заражению дерева грибными болезнями способствуют различного рода механические повреждения. Во многих случаях грибковые заболевания вызывают гниль стволов и корней, чем снижаются технические качества заготавливаемой древесины и уменьшается выход деловых сортиментов.

В целях снижения вредного воздействия грибов на процесс лесовозобновления на лесосеках после рубок главного пользования желательно удалять все древесные отходы, а также сухостой и деревья, затронутые грибковыми заболеваниями, несмотря на низкое качество и малую товарность их древесины, повышенную себестоимость заготовки и вывозки малотранспортабельных лесосечных отходов.

Древесина, поврежденная грибковыми заболеваниями, поступающая на нижний склад лесопромышленного предприятия, должна в кратчайшие сроки измельчаться в топливную щепу и сжигаться в топках котельных установок.

Лес характеризуется интенсивным кругооборотом веществ, приводящим к наибольшей, по сравнению с другими природ-



ными типами растительности, аккумуляции органического вещества. В эксплуатируемых лесах некоторая часть зольных элементов и азота выпадает из биологического кругооборота в связи с удалением из леса части выросшей там биомассы во время лесозаготовок. Пока при рубках удаляется с лесосек преимущественно стволовая древесина, а ветви, сучья, хвоя, листва, т. е. наиболее богатые зольными элементами и азотом части дерева, остаются в лесу. Удаляемая часть зольных элементов и азота составляет не более 15..20 % их содержания в массе дерева, поэтому почва в таком случае резко не обедняется. Однако по мере повышения доли практического использования древесной биомассы в комплексных лесозаготовительных предприятиях выпадающая из биологического круговорота веществ часть зольных элементов и азота будет возрастать, и может наступить такой момент, когда вывозка с лесосек всей биомассы (включая крону и корневую систему) вызовет опасность обеднения лесных почв.

В практике лесного хозяйства уже имеются примеры полного использования биомассы деревьев. В связи с этим возникает проблема количественного определения и практического возмещения потерь питательных веществ почвой леса при повышении доли древесной биомассы леса, вывозимой с лесосек. По-видимому, при этом будет необходим новый подход к применению удобрений и возможно придется разработать новые методы лесовозобновления. Однако возникновение этой проблемы не может быть достаточной причиной, препятствующей развитию вывозки деревьев, или служить основанием для отказа от надлежащей очистки лесосек после рубок главного пользования.

Острота этой проблемы несколько сглаживается тем, что такое полное изъятие древесной биомассы на одном и том же месте осуществляется очень редко — в наших лесах 1 раз в 100 лет. Затем по мере роста нового поколения деревьев постепенно будет вновь возрастать поступление органических веществ в почву.

Для правильного решения проблемы необходимо выявить значение перерыва или ослабления в накоплении питательных веществ в почве путем экспериментальных исследований с количественной и качественной оценкой изменений в биологическом кругообороте веществ при данных природных и экономических условиях.

Было бы неправильно не обратить внимания на одну весьма важную сторону проблемы очистки лесосек — необходимость снижения пожароопасности лесных массивов.

Наличие на лесосеке после рубки главного пользования сучьев, ветвей, валежника, сухостойных деревьев создает обстановку, способствующую возникновению лесных пожаров, так как в летних условиях влажность древесных отходов резко снижается, а способность их к воспламенению возрастает. Потен-

циальная пожарная опасность на захламленных лесосеках во много раз превышает опасность возникновения пожара на очищенной лесосеке.

Несмотря на то, что очистка лесосек от древесных отходов после рубок главного пользования является операцией трудоемкой и дорогостоящей, отказываться от нее с учетом всего изложенного выше нецелесообразно, особенно если рассматривать эту проблему не только с точки зрения сегодняшнего дня, а и в перспективе развития комплексного предприятия. При этом следует иметь в виду, что энергетическое использование древесных отходов, вывезенных с лесосеки и измельченных в топливную щепу, возможно при любом даже самом низком качестве их биомассы.

Проблема использования древесных отходов первичной переработки древесины на нижнем складе лесозаготовительного или лесопромышленного предприятия самым существенным образом затрагивает вопросы сохранения окружающей среды. Даже незначительное количество древесных отходов, образующихся в технологическом процессе, использование которых не предусмотрено технологией производства, приводит с течением времени к образованию больших куч (отвалов) этих отходов на территории самих предприятий или вне их. Находясь в больших кучах, древесные отходы подвергаются действию атмосферного воздуха, влаги, бактерий, грибков и насекомых. При этом биомасса отходов разрушается с выделением большого числа различных веществ распада древесины и коры, многие из которых токсичны и канцерогенны. Растворяясь во влаге атмосферных осадков и поверхностных водах, эти вещества проникают под почву и загрязняют грунтовые воды, а также вымываются в соседние водоемы, ручейки, речки, оказывая вредное воздействие на их биологическую и микробиологическую среду. Вместо чистых водоемов и прудов образуются хранилища дурно пахнущих стоков, а ручьи и речки превращаются в сточные канавы с отравленной биологической средой.

С точки зрения экологии образование отвалов гниющих древесных отходов в лесозаготовительных и лесопромышленных предприятиях недопустимо, а тем более недопустимо возрастание их объемов с течением времени.

Следует принять как непреложное правило: все, что вывезено из леса и не может быть использовано для технологических целей, должно измельчаться в топливную щепу и своевременно сжигаться в топках котельных установок с получением необходимой в производстве и быту тепловой энергии. При этом каждый плотный кубометр древесных отходов, не находящий другого применения и направленный в топку котельной, позволит сэкономить 200..250 кг условного топлива.

Наиболее перспективным направлением использования низкокачественного сырья и древесных отходов является производ-



ство технологической щепы для целлюлозно-бумажной промышленности и заводов ДВП и ДСП.

По мнению многих работников лесозаготовительной промышленности, именно производство технологической щепы может обеспечить полную безотходность лесозаготовительного производства. Практика работы предприятий отрасли, однако, показывает, что на этом направлении решения проблемы безотходности лесозаготовок встречаются определенные трудности. Прежде всего, коэффициент полндревесности щепы из отходов лесозаготовок составляет 0,30...0,36, в то время, как коэффициент полндревесности технологических дров и круглых сортиментов изменяется в пределах от 0,70 до 0,80. Исходя из этого очевидно, что показатель, характеризующий транспортабельность технологической щепы, в 2 раза ниже этого показателя для ствольной древесины. Иными словами использование полезного объема транспортных средств при перевозке технологической щепы будет в 2 раза ниже, чем при перевозке технологических дров или колотых балансов. В связи с этим с общегосударственной точки зрения производство технологической щепы наиболее целесообразно в определенных районах, тяготеющих к целлюлозно-бумажным предприятиям и заводам древесностружечных и древесноволокнистых плит. При производстве технологической щепы на предприятиях, удаленных от ЦБК и заводов ДСП и ДВП, неизбежно возникнут трудности с транспортированием технологической щепы. Иначе говоря производство технологической щепы имеет определенную, ограниченную область экономически целесообразной применимости, а следовательно, не может рассматриваться как универсальное направление, обеспечивающее в любых условиях положительное решение проблемы безотходности лесозаготовительного производства.

Некоторая часть древесной биомассы, поступающей из леса при организации надлежащей очистки лесосек, неизбежно окажется пораженной грибковыми заболеваниями и вредными насекомыми. Эта часть древесных отходов не пригодна для производства технологической щепы и единственно возможное направление ее полезной утилизации есть энергетическое использование в топках котельных установок.

Лесосечные отходы — сучья, ветви, вершины имеют сложную и разнообразную форму и их измельчение в рубительных машинах неизбежно сопряжено с получением, с одной стороны, мелочи, а с другой — крупных частиц, которые отсортировываются в процессе производства технологической щепы, образуя так называемые вторичные отходы. При использовании в качестве сырья для производства щепы отходов лесозаготовок таких вторичных отходов образуется 20...30 % от объема перерабатываемого сырья.

Отходы производства технологической щепы в настоящее время вывозятся в основном в отвалы. Подобная практика дол-

жна быть ликвидирована, отходы производства щепы следует использовать на топливо в котельных. Для этого будет необходимо разработать применительно к местным условиям технологию их подготовки к эффективному сжиганию в топках паровых и водогрейных котлов.

Одним из направлений использования древесных отходов является гидролиз, в результате которого получается ряд продуктов, имеющих неограниченный сбыт в народном хозяйстве страны. Для гидролиза используются в основном мягкие отходы преимущественно хвойных пород. Опилки, стружки и щепа допускаются для применения в гидролизном производстве, если давность их хранения в открытом виде не более 4 мес. Примесь коры является вредной для этого вида производства и количество ее в сырье не должно превышать 8 %. Длина частиц древесины при гидролизе должна быть не более 40 мм. Допускается примесь щепы с размерами более 40 мм в количестве не свыше 3 %. На основании этих требований по качеству сырья для гидролизной промышленности, и учитывая малую транспортабельность мягких древесных отходов и щепы, можно заключить, что так же, как и производство технологической щепы, гидролизное производство не может обеспечить полную безотходность лесозаготовительной отрасли промышленности.

Единственным достаточно универсальным видом полезного применения древесных отходов даже самого низкого качества, позволяющим организовать лесозаготовительное производство без каких-либо отходов, является использование отходов лесозаготовок в энергетических целях для получения тепловой энергии, необходимой для производственных и бытовых нужд самих лесопромышленных предприятий.

Основным направлением энергетического использования древесных отходов в лесопромышленных предприятиях надо считать прямое их сжигание в топках паровых и водогрейных котлов. Это направление получило повсеместное распространение как в нашей стране, так и в зарубежных странах.

Работами по прямому сжиганию древесных отходов, содержащих значительное количество минеральных включений, коры, гнили и т. п., выполненными в ЦНИИМЭ, МЛТИ, НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова, Ленинградском политехническом институте и других научно-исследовательских организациях в СССР и за рубежом, показана практическая возможность использования древесной биомассы любого вида.

На основании этих работ можно считать реальной возможность организовать лесозаготовительное производство так, чтобы полезно использовать всю биомассу, вывозимую из леса, без каких-либо отходов, обеспечивая наилучшие условия лесовозобновления на вырубленных лесосеках и полностью удовлетворяя современным требованиям по сохранению окружающей среды.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельский В. Д. Переработка вторичного древесного сырья.— М.: Гослесбумиздат, 1961.— 154 с.
2. Белоконов Н. И. Характеристики горючей массы топлива.//Тр. ЦНИИ МПС — 1957. № 135.— С. 41—43.
3. Большаков А. В. Физико-механические свойства основных анатомических компонентов еловой, сосновой и березовой коры.//Тр. Свердловского ЦНИИДрева — 1967. Вып. 2.— С. 15—17.
4. Бухман С. В., Крылова Н. П. Вспучивание частиц натуральных углей в процессе термической обработки.//Сб.: Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики.— 1972.— Вып. 8. С. 48—52.
5. Ванин С. И. Древесиноведение.— М.: Гослестехиздат, 1940.— 460 с.
6. Веретенник Д. Г., Койков П. М., Раус Р. К. Использование древесной коры и мелких древесных отходов.— М.: ВНИПИЭИлеспром, Лесоэксплуатация и сплав — 1971.— № 33.— 40 с.
7. Виленский Т. В., Хзмалаян Д. М. Динамика горения пылевидного топлива.— М.: Энергия, 1978.— 248 с.
8. Воюцкий С. С. Гниль дерева, ее влияние на танидность древесины/Под ред. проф. Жеребова.— М., Лесохимический сборник.— 1932.— Вып. I.— С. 11—13.
9. Головков С. И., Опомах Л. Т. К вопросу влияния влажности щепы на процесс газификации древесных отходов.//Тр. ЦНИИМЭ.— 1966.— № 70.— С. 6—18.
10. Голубов И. А. Транспортировка, хранение щепы и стружек в производстве ДСП за рубежом.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1972.— 26 с.
11. Гутерман М. Н. Перевод древесных отходов в условное топливо.— М.: ЦНИИМОД, 1947.— 20 с.
12. Жидков А. В. Древесная кора и ее свойства.— Бумажная промышленность, 1958. № 2.— С. 15—18.
13. Жидков А. В. и др. Открытое хранение технологической щепы.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1969.— 76 с.
14. Загорье А. М., Зах Р. Ю. Г. Вторичные энергосырьевые ресурсы лесоперерабатывающей промышленности.— М.: Лесная промышленность, 1970.— 84 с.
15. Зыков Ф. И. Подготовка древесной коры к сжиганию.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1972.— 39 с.
16. Исследование теплотехнических свойств древесных отходов, как топлива. Ч. II.— М.: МЛТИ, 1975.— 75 с.
17. Калишевский Л. А., Кадельсон В. Д., Кнорре Г. Ф. и др. Циклонные топки.— М.— Л.: Госэнергоиздат, 1958.— 216 с.
18. Канторович Б. В. Основы теории горения и газификации твердого топлива.— М.: Изд-во АН СССР, 1958.— 594 с.
19. Качелкин Л. И., Рушнов Н. П. и др. Использование отходов лесозаготовок.— М.: Лесная промышленность, 1965.— 323 с.
20. Коперин И. Ф., Головков С. И. Калорийные эквиваленты древесины различных пород.//Лесная промышленность, 1978.— № 11.— С. 20—21.
21. Коперин И. Ф., Головков С. И. Паросиловые установки в лесной промышленности.— М.: Лесная промышленность, 1978.— 199 с.
22. Корзов В. В., Ильичев А. А. Механизация погрузки-разгрузки и складирования измельченной древесины.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1974.— 44 с.
23. Коротаев Э. И., Клименко М. И. Использование древесных опилок.— М.: Лесная промышленность, 1974.— 142 с.
24. Леонтьев Н. Л. О влажности и объемном весе древесной коры.//Тр. ЦНИИМЭ, 1967.— Вып. 84.— С. 125—134.
25. Леонтьев Н. Л. О влажности и весе круглых лесоматериалов в свежесрубленном состоянии.//Тр. ЦНИИМЭ, 1967.— Вып. 84.— С. 118—124.
26. Леонтьев Н. Л., Енгватова В. К. Об объеме коры в хлыстах основных древесных пород.//Тр. ЦНИИМЭ, 1974.— Вып. 135.— С. 84—88.
27. Липпе Б. К. Сжигание мелких топлив во взвешенном состоянии.//Известия ВТИ.— 1932.— № 3.— С. 31—33.
28. Мардер М. В. Опыт сжигания коры на целлюлозно-бумажных комбинатах.— М.: Лесная промышленность, 1967.— 159 с.
29. Методические указания по буферному и межсезонному хранению мелкого древесного топлива РД-13-11-7 — 85.— Химки: ЦНИИМЭ, 1985.— 78 с.
30. Михайлов Г. М., Петров А. П. Классификация древесных отходов.//Сб. трудов ВНИПИЭИлеспрома, 1975.— № 12.— С. 7—10.
31. Морозов Б. Ф. Сжигание влажной коры и сульфатных щелоков на целлюлозно-бумажных предприятиях.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1969.— 26 с.
32. Найденов В. И., Коперин И. Ф. Теплотехнические характеристики и средние калорийные эквиваленты древесных отходов.//Деревообрабатывающая промышленность, 1980.— № 12. С. 11—12.
33. Найденов В. И., Коперин И. Ф., Пурим В. Р. Физико-химические свойства золы древесных отходов.//Лесной журнал, 1982.— № 2.— С. 115—117.
34. Никитин В. М. Химия древесины и целлюлозы.— М.— Л.: Гослесбумиздат, 1960.— 468 с.
35. Никитин Н. И. Химия древесины и целлюлозы. М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1962.— 711 с.
36. Организация объединенных наций. ЕЭК-ФАО. Среднесрочный обзор тенденций на рынках балансов, энергетической древесины и прочих сортиментов круглого леса/Дополнение 15 к тому XXXIV «Европейского бюллетеня по лесоматериалам». — Женева, 1982.— 15 с.
37. Отлев И. А., Корзов В. В. Погрузка, транспортирование, прием и хранение технологической щепы.— М.: Гослесбумиздат, 1963.— 52 с.
38. Передыгин Л. М. Древесиноведение.— М.: Лесная промышленность, 1969. 318 с.
39. Пижурич П. А., Павлосюк В. А. Топочные устройства для сжигания некондиционных древесных отходов.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1978.— 31 с.
40. Померанский А. И. Определение теплотворной способности отходов лесосечной древесины.//Изв. ЛТА им. С. М. Кирова. 1933.— № 3.— С. 16—19.
41. Померанцев В. В. и др. Самовозгорание и взрывы пыли натуральных топлив.— Л.: Энергия, 1978.— 208 с.
42. Померанцев В. В. и др. Основы практической теории горения.— Л.: Энергия, 1973.— 264 с.
43. Правила взрывобезопасности установок для приготовления и сжигания топлива в пылевидном состоянии.— М.: Энергия, 1978.— 63 с.
44. Прейскурент № 19-14. Оповестные цены на оборудование грузоподъемное и транспортирующее.— М.: Прейскурентиздат, 1981.— 59 с.
45. Прикот Н. Г. Физико-механические свойства коры древесных пород.//Тр. ЛТА им. С. М. Кирова, 1938.— № 50.— С. 44—46.
46. Пушкин Ю. А. Производство технологической щепы.— М.: Лесная промышленность, 1970.— 47 с.
47. Пушкин Ю. А. и др. Щепы из отходов лесопиления.— М.: Лесная промышленность, 1971.— 168 с.
48. Равич М. Б. Топливо и эффективность его использования.— М.: Наука, 1971.— 358 с.
49. Резняков А. Б., Басина И. П. и др. Горение натурального твердого топлива.— Алма-Ата, 1968.— 128 с.
50. Рекомендации по сжиганию мелких древесных отходов и древесной пыли совместно с газом и мазутом в топках котлов типа ДКВр и КЕ.— Химки: ЦНИИМЭ, 1981.— 133 с.
51. Руководящие технические материалы. Древесина. Показатели физико-механических свойств.— М.: Стандартгиз, 1962.— 48 с.

52. Симонов М. Н. Некоторые зависимости физико-механических свойств коры и древесины сосны, ели, березы, осины//Тр. ЦНИИМЭ, 1963.— № 41.— С. 3—12.
53. Симонов М. Н. Некоторые физические и механические свойства коры основных древесных пород//Лесной журнал, 1962.— № 5— С. 16—17.
54. Симонов М. Н., Югов В. Г. Окорка древесины.— М.: Лесная промышленность, 1972.— 128 с.
55. Справочник мастера лесозаготовок/Под ред. В. А. Гацкевича.— М.: Лесная промышленность, 1971.— 390 с.
56. Стеймацкий Р. М., Красиков В. И. Справочник по лесопилению и шпалопилению.— М.: Лесная промышленность, 1971.— 285 с.
57. Стеймацкий Р. М. Справочник мастера шпалопиления.— М.: Гослесбумиздат, 1961.— 227 с.
58. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод.— М.— Л.: Госэнергоиздат, 1973.— 296 с.
59. Таубкин С. И., Таубкин И. С. Пожаро- и взрывоопасность пылевидных материалов и технологических процессов их переработки.— М.: Химия, 1976.— 264 с.
60. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения.— М.: Лесная промышленность, 1975.— 384 с.
61. Цывин М. М. Использование древесной коры.— М.: Лесная промышленность, 1973.— 93 с.
62. Шагалова С. П., Шницер И. Н. Сжигание твердого топлива в топках парогенератора.— Л.: Энергия, 1976.— 215 с.
63. Шереметьев В. С. Использование лесосециных отходов для энергетических целей//Тр. ЛТА им. С. М. Кирова, 1955.— № 72.— С. 47—48.
64. Шершнев А. А. Пневматические топки ЦКТИ системы Шершнева для котлов малой и средней мощности.— М.— Л.: Машгиз, 1964.— 103 с.
65. Эфроимсон О. А. Классификация твердых энергетических топлив по их взрываемости//Теплоэнергетика, 1979.— № 5.— С. 43—45.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Предисловие . . . . .                                                                                         | 3         |
| <b>1. Проблемы энергетического использования древесных отходов . . . . .</b>                                  | <b>4</b>  |
| 1.1. Древесная биомасса как один из видов естественно возобновляющегося топлива . . . . .                     | 4         |
| 1.2. Энергетическое использование древесной биомассы за рубежом . . . . .                                     | 5         |
| 1.3. Перспективы использования древесной биомассы как топлива в СССР . . . . .                                | 8         |
| <b>2. Основные физико-химические и теплотехнические свойства различных видов древесной биомассы . . . . .</b> | <b>10</b> |
| 2.1. Влажность, зольность, плотность . . . . .                                                                | 10        |
| 2.2. Элементарный состав древесной биомассы . . . . .                                                         | 20        |
| 2.3. Теплота сгорания древесной биомассы . . . . .                                                            | 22        |
| 2.4. Калорийные эквиваленты различных видов древесной биомассы . . . . .                                      | 24        |
| 2.5. Классификация древесных отходов . . . . .                                                                | 26        |
| 2.6. Количество древесных отходов . . . . .                                                                   | 27        |
| 2.7. Фракционный состав измельченной древесины . . . . .                                                      | 29        |
| 2.8. Коэффициент полноты . . . . .                                                                            | 31        |
| 2.9. Механические свойства измельченной древесины и мелких древесных отходов . . . . .                        | 33        |
| 2.10. Свойства древесной пыли . . . . .                                                                       | 33        |
| <b>3. Особенности сжигания древесной биомассы . . . . .</b>                                                   | <b>34</b> |
| 3.1. Специфические особенности древесины как топлива . . . . .                                                | 34        |
| 3.2. Жаропродуктивность древесного топлива . . . . .                                                          | 36        |
| 3.3. Факторы, определяющие эффективность процесса сжигания древесной биомассы . . . . .                       | 37        |
| 3.4. Основные виды топочных процессов при сжигании древесной биомассы . . . . .                               | 39        |
| <b>4. Слоевой способ сжигания древесного топлива . . . . .</b>                                                | <b>43</b> |
| 4.1. Принципы слоевого сжигания. Область применения . . . . .                                                 | 43        |
| 4.2. Оптимизация процессов горения древесной биомассы . . . . .                                               | 45        |
| 4.3. Топочные устройства слоевого типа в СССР и за рубежом . . . . .                                          | 46        |
| 4.4. Расчет топочных устройств слоевого типа . . . . .                                                        | 57        |
| <b>5. Вихревой и факельный способы сжигания древесной биомассы . . . . .</b>                                  | <b>64</b> |
| 5.1. Вихревой способ сжигания . . . . .                                                                       | 64        |
| 5.2. Топочные устройства, работающие с применением вихревого способа сжигания топлива . . . . .               | 65        |
| 5.3. Расчет вихревых топочных устройств . . . . .                                                             | 66        |

|                                                                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4. Факельный способ сжигания пылевидного топлива . . . . .                                                | 67         |
| 5.5. Сжигание древесной шлифовальной пыли факельным способом . . . . .                                      | 68         |
| 5.6. Расчет пневматической подачи в топку древесной пыли и опилок . . . . .                                 | 70         |
| 5.7. Организация сжигания древесной шлифовальной пыли факельным способом . . . . .                          | 72         |
| <b>6. Циклонный способ сжигания древесной биомассы . . . . .</b>                                            | <b>73</b>  |
| 6.1. Основные принципы циклонного сжигания . . . . .                                                        | 73         |
| 6.2. Топочные устройства циклонного типа . . . . .                                                          | 74         |
| 6.3. Расчет циклонного топочного устройства . . . . .                                                       | 75         |
| <b>7. Сжигание коры . . . . .</b>                                                                           | <b>78</b>  |
| 7.1. Общие сведения . . . . .                                                                               | 78         |
| 7.2. Подготовка древесной коры к сжиганию . . . . .                                                         | 80         |
| 7.3. Особенности сжигания древесной коры . . . . .                                                          | 92         |
| <b>8. Котельные установки, работающие на древесном топливе . . . . .</b>                                    | <b>97</b>  |
| 8.1. Основные типы паровых котлов, применяемых в лесной и деревообрабатывающей промышленности . . . . .     | 97         |
| 8.2. Основные типы водогрейных котлов, применяемых в лесной и деревообрабатывающей промышленности . . . . . | 107        |
| <b>9. Вспомогательное оборудование котельных установок, работающих на древесном топливе . . . . .</b>       | <b>113</b> |
| 9.1. Вспомогательные поверхности нагрева котлоагрегатов и их элементы . . . . .                             | 113        |
| 9.2. Использование тепла отходящих газов в котельных лесопромышленных предприятиях . . . . .                | 123        |
| 9.3. Оборудование котельных для подачи в топочные устройства мелкого древесного топлива . . . . .           | 126        |
| 9.4. Системы удаления золы и шлака в котельных, работающих на древесном топливе . . . . .                   | 129        |
| <b>10. Подготовка древесного топлива к сжиганию . . . . .</b>                                               | <b>136</b> |
| 10.1. Оптимальный размер частиц древесного топлива . . . . .                                                | 136        |
| 10.2. Рубительные машины для измельчения дров и древесных отходов в топливную щепу . . . . .                | 138        |
| 10.3. Внутривозвездской транспорт древесного сырья и древесного топлива . . . . .                           | 142        |
| <b>11. Буферные склады для хранения мелкого древесного топлива . . . . .</b>                                | <b>146</b> |
| 11.1. Типы складов. Области их применения . . . . .                                                         | 146        |
| 11.2. Устройство буферных складов для мелкого древесного топлива . . . . .                                  | 148        |
| 11.3. Механизмы для подачи топлива в буферный склад . . . . .                                               | 159        |
| 11.4. Механизмы для выгрузки мелкого топлива из буферного склада котельной . . . . .                        | 162        |
| 11.5. Автоматизация топливоподачи . . . . .                                                                 | 169        |
| 11.6. Типовые схемы буферных складов для мелкого древесного топлива . . . . .                               | 171        |

|                                                                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>12. Склады межсезонного хранения мелкого древесного топлива . . . . .</b>                                                   | <b>176</b> |
| 12.1. Назначение складов межсезонного хранения . . . . .                                                                       | 176        |
| 12.2. Кучевое хранение щепы и мелких древесных отходов . . . . .                                                               | 178        |
| 12.3. Расчет объема склада межсезонного хранения мелкого древесного топлива . . . . .                                          | 185        |
| 12.4. Устройство складов межсезонного хранения мелкого древесного топлива . . . . .                                            | 188        |
| 12.5. Технология межсезонного хранения мелких древесных отходов . . . . .                                                      | 189        |
| <b>13. Учет расхода древесного топлива . . . . .</b>                                                                           | <b>192</b> |
| 13.1. Учет расхода древесного топлива по нормативам выхода древесных отходов . . . . .                                         | 193        |
| 13.2. Метод обратного баланса . . . . .                                                                                        | 193        |
| 13.3. Объемный метод . . . . .                                                                                                 | 195        |
| 13.4. Весовой метод . . . . .                                                                                                  | 196        |
| <b>14. Экономика энергетического использования древесных отходов . . . . .</b>                                                 | <b>197</b> |
| 14.1. Экономические показатели котельных, работающих на древесном топливе . . . . .                                            | 198        |
| 14.2. Основные пути экономии топлива в котельных лесопромышленных предприятий . . . . .                                        | 204        |
| 14.3. Экономическая эффективность энергетического использования древесных отходов . . . . .                                    | 207        |
| <b>15. Энергетическое использование древесных отходов как основа безотходности лесозаготовительного производства . . . . .</b> | <b>208</b> |
| <b>Список использованной литературы . . . . .</b>                                                                              | <b>216</b> |